

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO**  
**“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MECÁNICA**



**PROCEDIMIENTO PARA LA INVESTIGACIÓN INGENIERO  
GEOLÓGICA DE LAS PATOLOGÍAS EN PRESAS TIERRA.**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Geología  
(Mención Geología Ambiental)**

**Autor: Ing. Tomás Díaz Pérez**

**Tutores: MSc. Fermín E. Sarduy Quintanilla  
MSc. José Luis Peñate Fleytes**

**Pinar del Río  
2010**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Los resultados que se exponen en la siguiente tesis, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y respaldado por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara y la Universidad de Pinar del Río. Por lo tanto, los resultados en cuestión, son propiedad del autor y de estas instituciones y solo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

## **AGRADECIMIENTOS**

*A los profesores de la Universidad de Pinar del Río, muchas gracias por su entrega.*

## **DEDICATORIA**

*A mis viejos*

## **RESUMEN**

El presente trabajo investigativo trata sobre las patologías que afectan a las presas, específicamente, las que se desarrollan sobre materiales que tiene un origen natural, denominándolas patologías de origen geológico, ya sea como afectación de su base, o de los materiales que se han empleado para construirlas.

La técnica investigativa empleada fue el estudio bibliográfico relacionado con la temática de la solución de tan importante aspecto, desde el punto de vista ingeniero geológico y del diseño, además fueron consultados diversos trabajos relacionados con el cuidado y conservación del medio, toda vez que las presas constituyen obras que aportan grandes beneficios, pero que provocan notorias afectaciones ambientales.

A través de la lectura de los capítulos se pueden conocer diferentes aspectos relacionados con el tema, tales como: términos generales, situación actual cubana, rutina de los estudios ingeniero geológicos, su necesidad, logros y desaciertos.

La utilidad del trabajo se manifiesta en la aplicación de medidas que les devuelvan a las obras niveles de seguridad adecuados, toda vez que pueda ser empleado en la forma de proceder en la ejecución de los estudios ingeniero geológicos de estos fenómenos adversos. Para lograr tal pretensión, el procedimiento propone una serie de pasos a seguir en el empleo de las técnicas investigativas más o menos conocidas, como una guía para el desarrollo de las investigaciones, lo cual puede ayudar además al interés de fijar un contenido, siendo enunciados un grupo de objetivos a cumplimentar que tienen que ver con la intención de establecer un mínimo alcance.

Se muestran ejemplos de obras importantes de la zona central de Cuba, como son las presas: Zaza, Alacranes y Lebrije; donde se ha aplicado esta forma de proceder con resultados positivos.

Los casos de estudios validan la utilidad del trabajo investigativo, al tratar procesos patológicos diferentes en distintos ambientes geológicos, con aportes significativos para la solución de la afectación producida.

## **ABSTRACT**

The present research work is about the pathologies that can affect dams, specifically those on natural materials, called “**pathologies of geologic origin**”. Either the ones that affect the base, or those that affects the materials that have been used to build them.

The employed investigative technique was the **bibliographical study** related with this thematic and the different solutions, from the geological research and from the engineering design point of view. Diverse works related with the environment conservation were also consulted, owing to the fact that dams can cause notorious environment affectations.

Through the **bibliographical study** different aspects, such as: general terms, Cuban current situation, routine of the geological engineering studies, their necessity, achievements and mistakes, could be known,

The utility of this work is manifested in the application of measures to obtain appropriate levels of security. To achieve this objective, the procedure proposes a series of steps to be follow as a guide for the development of the investigations.

Examples of important works of the central area of Cuba, like: Dams Zaza, Alacranes and Lebrije; where this procedure was applied with positive results, are shown

The cases of studies validate the utility of the research work, when treating different pathological processes in different geologic atmospheres, with significant contributions for the solution of the produced affectation.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I. Marco teórico referencial sobre la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas. ....</b>	<b>8</b>
I.1. Breve caracterización de la influencia de las presas sobre su entorno. ....	8
I.2. Acercamiento al entorno investigativo de las presas y las patologías. ....	10
I.3 Apuntes sobre la forma de actuar ante las patologías.....	20
<b>Capítulo II. Procedimiento de los estudios ingeniero geológicos de las patologías en presas de tierra .....</b>	<b>24</b>
II.1. Agrupación de los objetos de estudio.....	24
II.2. Pasos a seguir en el desarrollo de los estudios. ....	25
II.2.1. Estudio bibliográfico .....	25
II.2.2. Estudio de la patología o del efecto. ....	26
II.2.3. Estudio de los registros de control de las obras.....	27
II.2.4. Aplicación de técnicas comunes a las investigaciones aplicadas. ....	28
II.2.4.1. Levantamiento ingeniero geológico. ....	28
II.2.4.2. Métodos geofísicos. ....	29
II.2.4.3. Perforación, pruebas in situ y muestreo.....	29
II.2.4.4. Ensayos de Laboratorio .....	31
II.2.5. Elaboración del informe final .....	31
II.2.6. Participación en el diseño de las medidas. ....	32
II.2.7. Participación en el control de la aplicación de las medidas. ....	32
II.3. Objetivos a complementar por el estudio ingeniero geológico. ....	33
II.3.1. Estado de los elementos ingeniero geológicos involucrados. ....	34
II.3.2. Establecimiento de las fronteras (límites) del fenómeno. ....	34
II.3.3. Mecanismos causantes.....	34
II.3.4. Predecir el comportamiento futuro. ....	35
II.4. Criterios acerca de la oportunidad de ejecución de los estudios. ....	35
II.4.1. Ventajas de la ejecución temprana. ....	36

<b>Capítulo III. Aplicación del procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra.....</b>	<b>37</b>
III.1. Caso de estudio Presa Zaza.....	37
III.1.1 Estado de los elementos ingeniero geológicos involucrados y el establecimiento de las fronteras del fenómeno. ....	39
III.1.2. Conocimientos de los mecanismos causantes. ....	47
III.1.3 Predecir el comportamiento futuro.....	49
III.2. Caso de estudio presa Lebrije. ....	49
III.2.1 Estudio de los registros de control de las obras. ....	51
III.3. Caso de estudio presa Alacranes.....	52
III.3.1. Métodos geofísicos.....	52
III.3.2 Perforación .....	56
III.3.3 Ensayos de Laboratorio.....	57
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Registro de los vertedores en la zona afectada, presa Zaza. ....	39
Figura 2. Corte obtenido por métodos geoelectricos en la zona afectada, presa Zaza. ....	40
Figura 3. Corte ingeniero geológico, margen izquierda cortina presa Zaza.....	42
Figura 4. Resultados de los ensayos químicos de agua en la zona afectada, presa Zaza .....	45
Figura 5. Gráfico de dispersión química de las capas en la zona afectada, presa Zaza.....	46
Figura 6. Corte esquemático de la sección afectada, cortina de la presa Lebrije .....	50
Figura 7. Gráfico del caudal registrado en los vertedores vs nivel de embalse antes y después del fallo, presa Lebrije. ( Ruiz <i>et al.</i> , 2003). ....	51
Figura 8. Comportamiento del Campo Eléctrico Natural en la zona de las filtraciones, presa Alacranes.....	55
Figura 9. Perfil transversal de la cortina entre las estaciones 8+80 y 12+00, presa Alacranes. Aparece la posición del núcleo detectada por dos investigaciones, las que se complementan y ratifican los resultados .....	56



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de las pruebas de agua a presión, zona afectada, presa Zaza.....	43
Tabla 2. Resumen geotécnico de las capas, cortina y base de la zona afectada, presa Zaza. ....	44
Tabla 3. Composición química de la capa 2, presente en la base de la presa Zaza. ....	47
Tabla 4. Relación de los valores del peso específico volumétrico del material empleado como espaldón, presa Alacranes. ....	57

## **LISTADO DE ANEXOS**

Anexo gráfico 1. Diferentes tipos de presas de materiales sueltos o de tierra. Cortesía, Libro “Ingeniería geológica” (González *et al.*, 2002)

Anexo gráfico 2. Vistas de diferentes tipos de presa de materiales sueltos y de fábrica. Cortesía, Libro “Ingeniería geológica” (González *et al.*, 2002)

Anexo gráfico 3. Muestra de diferentes tipos de patología que han afectado a embalses cubanos.

Anexo gráfico 4. Perfil geofísico longitudinal por la corona. Presa Alacranes

Anexo gráfico 5. Detalles de los perfiles transversales geofísicos típicos entre las Estaciones estudiadas. Presa Alacranes.

## INTRODUCCIÓN

El agua es vital para la vida, a ella se asocia su surgimiento y desarrollo en el planeta, dejando una profunda huella en el devenir histórico de la humanidad. Tal como expresará Rolando García Blanco en su libro dedicado al acueducto de Albear “El acceso al agua, por sus implicaciones biológicas y sociales, ha constituido el elemento determinante en el desarrollo ulterior de toda colectividad humana”.<sup>1</sup> (García, *et al.*, 2002).

Teniendo en cuenta su importancia, su conservación y explotación adecuada, constituye una premisa fundamental para el hombre, aún más, si se tiene en cuenta, que al igual que muchos otros recursos, sus reservas no son infinitas, pudiendo agotarse al no renovarse en la misma cuantía en que se explotan.

Manipularlas entre su punto de caída en la tierra y su salida al mar siempre ha constituido un objetivo primordial para el hombre, al lograr con esto una mejor explotación de sus reservas y una mayor seguridad ante eventos naturales extremos, como son los casos de las sequías prolongadas y las lluvias intensas.

Una pieza fundamental en el logro de tales niveles de manipulación lo constituyen las presas, obras hidráulicas de envergadura, vitales para el desarrollo de planes sociales y económicos en el mundo moderno.

La Revolución Cubana, prácticamente desde su mismo surgimiento se ocupó de desarrollar la infraestructura hidráulica del país, los indiscutibles beneficios de tal práctica hicieron que su máxima dirección pusiera énfasis en este, un recurso estratégico para la vida y desarrollo de los seres humanos y su entorno.

Tempranamente, entre los tres y cinco años después del triunfo revolucionario, ocurrieron dos eventos naturales trascendentales, que iban a demostrar cuanto quedaba por hacer en el tema agua en el país.

El primero fue una gran sequía entre los años 1961 y 1962,<sup>2</sup> (Prats y Caballero, 2009); que dio lugar a la creación por Fidel del Instituto de Recursos Hidráulicos, bajo el principio “ni

---

<sup>1</sup> García, R.; Pérez, F.; Aruca, L.; Álvarez, A. (2002). “Una obra maestra: el acueducto Albear de la Habana”, Editora Científico-Técnica, Ciudad de la Habana, pág 13.

<sup>2</sup> Prats, F.; Caballero, R. (2009). “Entrevista a premios nacionales de la Ingeniería Hidráulica”, Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de La Habana, #102, pág 59.

una gota de agua al mar ” lo que dio lugar a que también naciera la voluntad hidráulica. <sup>3</sup> (Caballero, 2009).

El segundo fue el paso del ciclón Flora, entre los días del 4 al 8 de octubre de 1963. Pérdidas de más de 1200 vidas humanas y cuantiosos daños a la economía, significó un saldo que demostró los riesgos a que se exponía el territorio bajo la influencia de fenómenos atmosféricos extremos. <sup>4</sup>(Aspiolea, 2003)

Este doloroso suceso influyó de forma decisiva sobre la toma de conciencia de las autoridades y el pueblo en general, como expresara Roberto Caballero “La voluntad hidráulica nació con la sequía que hubo de 1961 al 62 como planteara Fidel, pero como también decía él, faltaba la conciencia hidráulica y esa la dio el ciclón Flora”.<sup>5</sup> (Caballero, 2009).

La importancia que el líder de la revolución le brindó al empleo y protección de tan importante recurso, quedó relegado en sus palabras al expresar “fue necesaria la revolución, y no solo la revolución, sino que nosotros los revolucionarios comprendiésemos la importancia del agua para que se le prestara la atención debida, del agua como amiga del hombre, del agua como elemento esencial de la vida y el agua como elemento destructor, como enemiga del hombre en ciertas condiciones.

Y esa contradicción entre grandes sequías y grandes temporales tenemos que resolverla, tenemos que sintetizarla en una solución de carácter positivo. Obras hidráulicas para resistir la sequía y obras hidráulicas para resistir los ciclones y las inundaciones; agua para cuando falte mantener los niveles adecuados de producción, y retención de agua cuando sobre, para que en vez de sembrar la destrucción y la muerte siembre la abundancia y ayude a construir y a crecer”. <sup>6</sup>(Aspiolea, J. L. 2003).

En los años ochenta, se ejecutaron un grupo importante de estas obras, proceso inversionista que también se conoció como segunda voluntad hidráulica, y que fue

---

<sup>3</sup> Caballero, R. (2009). “Entrevista a premios nacionales de la Ingeniería Hidráulica”, Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de La Habana, #102, pág 59.

<sup>4</sup> Aspiolea, J. L. (2003) “Palabras centrales del Presidente del INRH, Jorge Luís Aspiolea Roig, en el acto resumen por el Aniversario 40 del ciclón Flora”, Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de la Habana, # 95, pág 4.

<sup>5</sup> Caballero, R.(2009) “Entrevista a premios nacionales de la Ingeniería Hidráulica”, Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de La Habana, #102, pág 61.

<sup>6</sup> Aspiolea, J. L. (2003) “Palabras Centrales del Presidente del INRH, Jorge Luís Aspiolea Roig, en el acto resumen por el Aniversario 40 del ciclón Flora” Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de la Habana, # 95, pág 5.

paralizado por la llegada del período especial, en los años noventa, situación económica que afectó estos planes.

Lo cierto es que a lo largo de estos 50 años son 226 las presas construidas, que se suman a las 13 que existían antes de 1959, que junto a las más de 700 micropresas, embalsan un volumen que sobre pasa los 9000 millones de m<sup>3</sup>. <sup>7</sup>(Mesa, 2009).

Contando la mayoría con más de 25 años de construidos, por lo que cada día aumenta la importancia de su cuidado y conservación.

Estas obras de gran trascendencia económica y social, se ven afectadas con la aparición de fenómenos desestabilizadores que limitan su explotación y atentan contra su seguridad. Numerosos son los ejemplos de obras que en el país han tenido manifestaciones de patologías de diferentes magnitudes, cabe mencionar entre otros los casos de: Higuanojo, en Sancti Spíritus, con manifestaciones de agrietamientos de tipo longitudinal en el cuerpo de la cortina; Las Cabrerías en Camaguey, destruida por procesos dispersivos de los suelos que conformaban su dique; C39 en Villa Clara, destruida por las deformaciones presentes en su cortina; Zaza, con varias etapas de reparaciones vinculadas a diferentes patologías como inestabilidad de sus taludes, filtraciones y Sifonamiento, entre otros ejemplos.

De forma general a lo largo y ancho del país se han tenido que reparar presas, incluyendo cortinas de tierra, que han sufrido daños de diferentes magnitudes, llegando incluso a afectar sus regímenes de explotación, durante su reparación o indefinidamente.

En la actualidad existen varias obras afectadas por lo que se ha denominado en el país “Prevención hidrológica”, lo que significa, limitar los volúmenes a embalsar por problemas de seguridad, con la correspondiente afectación en las entregas de agua con diferentes intereses, además de limitarlos en cuanto a la protección contra inundaciones, factor de máximo interés, al aumentar los riesgos, sobre todo ante los fenómenos climatológicos extremos.

Muchas de estas manifestaciones negativas a las cuales es común que se les llame patologías, tienen su origen en la ingeniería geológica, que aparece en la base de las obras y también como aporte de los materiales fundamentales para su construcción, sobre todo en las llamadas presas de tierra o de materiales locales, a las cuales se vincula la investigación

---

<sup>7</sup> Mesa, R. (2009) “Intervención del presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba, en el 5<sup>to</sup> Foro Mundial del agua”, Revista voluntad hidráulica, Ciudad de la Habana, # 101, pág 62.

Es por ello que el estudio del medio geológico se presenta como un elemento de mucho interés en el momento de solucionar la afectación de la obra, al aportar datos de relevancia para caracterizar el fenómeno adverso, lo que ayuda a la toma de decisiones, que incluye la aplicación o no de medidas correctoras, y de ser estas necesarias, el establecimiento de su dimensión.

Contar entonces con una herramienta más que contribuya a la realización eficiente de los estudios ingeniero geológicos de las patologías, es algo útil, sobre todo por ser este un tema que requiere de un alto nivel de especialización.

### **Fundamento metodológico del trabajo**

#### Situación Problemática

En el país se han presentado problemas en las presas de tierra relacionados con la presencia de Patologías de origen geológico que han afectado su estabilidad y seguridad.

#### Problema

En Cuba no existen guías, normas o procedimientos para la ejecución de las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías en presas de tierra, por lo que los resultados no son siempre los mas racionales y eficientes.

#### Objeto de estudio

El objeto de estudio de la investigación son las patologías de origen geológico presentes en las presas de tierra.

#### Hipótesis

Con la aplicación de un procedimiento para las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías presentes en las presas de tierra se logran resultados más racionales y eficientes, que contribuyen a la solución de las afectaciones que estas provocan.

#### Objetivo general

Estandarizar y ordenar las investigaciones ingeniero geológicas que afectan a las presas de tierra.

#### Objetivos específicos

1. Elaborar un procedimiento para el estudio ingeniero geológico de las patologías presentes en las presas de tierra y definir su alcance mínimo e indispensable.
2. Validar el procedimiento propuesto con su aplicación en los casos de estudios de las presas Zaza, Alacranes y Lebrije.

### Tareas principales

1. Recopilación bibliográfica preliminar y definición del diseño metodológico de la investigación.
2. Bibliografía y análisis del estado actual del conocimiento de las investigaciones ingeniero geológicas en presas de tierra
3. Redacción del capítulo 1 “Marco teórico referencial sobre la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”.
4. Redacción del capítulo 2 “Procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”.
5. Redacción del capítulo 3 “Casos de aplicación del procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”.
6. Redacción de las conclusiones, confección de los anexos y la bibliografía.

### Novedad científica

Con la aplicación del procedimiento se hace mas eficiente la investigación y por consiguiente la solución se hace mas tangible, lo cual se valida en los casos de estudio.

### Aportes científicos relevantes

1. Crear un procedimiento para la realización de las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías en presas de tierra, carente en el país.
2. Llegar a definir un grupo de tareas indispensables a resolver por la investigación (alcance mínimo), no definidas para las investigaciones ingeniero geológicas en Cuba.
3. La agrupación de los objetos de obra bajo estudio atendiendo al lugar de ocurrencia de la patología, aspecto inédito para el desarrollo de las investigaciones ingeniero geológicas en Cuba.

### Valor científico de la investigación

Se detalla un procedimiento para efectuar los trabajos investigativos de estos tipos de patología que afectan a las presas de tierra en explotación, con referencia a formas y técnicas actuales de ejecución y a recomendaciones acerca de los momentos y de los alcances con que deben aplicarse, hasta la solución definitiva de la afectación a la obra.

### Valor metodológico de la investigación

Recopilación del estado actual del conocimiento acerca del tema de investigaciones ingeniero geológicas de las patologías en presa de tierra, a partir del análisis crítico del mismo se hace necesario la introducción de un procedimiento que enmarca el contenido para estos tipos de trabajo, a través de la ejecución de una serie de pasos a cumplimentar, con un orden de aplicación definido. Se define un alcance mínimo e indispensable a cumplimentar y se brindan recomendaciones acerca del momento de ejecución de los trabajos.

### Valor práctico ingenieril

Los investigadores contarán con una herramienta para el desarrollo de las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías de presas de tierra, que hasta el momento no tenían.

### Estructura y orden del trabajo. Enunciado del contenido de cada capítulo.

#### Introducción

Capítulo I “Marco teórico referencial sobre la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”

Se hace un análisis de los términos y definiciones más empleados en la actualidad referentes al tema investigativo, así como del estado actual del conocimiento en torno a este tipo de investigación ingeniero geológica.

Capítulo II “Procedimiento de los estudios ingeniero geológicos de las patologías en presas de tierra”

Queda definido en este capítulo el alcance y contenido de las investigaciones ingeniero geológicas. Además, aparece una agrupación de los objetos de obra de acuerdo al lugar donde afectado por la patología, así como una sugerencia al momento en que se deben ejecutar estos trabajos.

Capítulo III. “Casos de aplicación del procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra”

Los estudios de referencia son los realizados a tres presas de la zona central de Cuba: Zaza, Alacranes (primero y segundo mayores embalses del país) y Lebrije.

Para ilustrar como pueden ser alcanzados cada uno de los objetivos y su importancia, se escogió el caso de la presa Zaza. Aquí el trabajo investigativo intenta establecer vínculos



entre el logro de cada objetivo propuesto y el empleo de las técnicas, recalcando así la importancia de estas y de su uso en el momento adecuado.

En los casos de Lebrije y Alacranes se ilustran resultados parciales de interés

Conclusiones generales

Bibliografía

Anexos Gráficos

## **Capítulo I. Marco teórico referencial sobre la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas.**

El siguiente capítulo está concebido, a partir de dos aspectos fundamentales: La caracterización de la influencia de las presas en su entorno y el acercamiento al entorno investigativo de las patologías.

### **I.1. Breve caracterización de la influencia de las presas sobre su entorno.**

Por el enorme impacto que ocasionan al medio las presas son siempre discutidas, teniendo defensores y detractores, a razón de los intereses, ya que introducirán altos gastos monetarios y elementos perjudiciales al medio, y por otro lado, satisfacción y beneficios. De ahí la importancia que tiene de aplicar criterios ambientales a la singular tarea de regular un recurso natural escaso, tan vital como el agua. <sup>8</sup>(Pinedo et al., 1995).

Por lo tanto, la influencia sobre el entorno y su desarrollo en buena medida depende de la realización en la fase de proyecto de una certera evaluación del impacto, que ofrezca los argumentos necesarios para una correcta toma de decisiones, siendo un elemento fundamental de mitigación de impacto, la recuperación de las áreas que han sido degradadas durante el proceso constructivo. <sup>9</sup>(Crespo, 2008).

En Cuba a tono con la importancia del tema, en la actualidad existen legislaciones que propician el marco jurídico adecuado para la ejecución de estas obras teniendo en cuenta factores ambientales, tales son los casos de: Resolución 77. Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental; la ley de minas; la Resolución No 91. Indicaciones para el proceso inversionista; entre otras; que expresan el cuidado que ha puesto el estado cubano en tan importante ámbito.

Independientemente a lo planteado anteriormente lo que es indiscutible es el valor de estas obras por el aumento de la seguridad que proporciona al medio, lo que viene relacionado

---

<sup>8</sup> Pinedo, A.; Gonzáles, S.; Del Pozo, I. (1995) “Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental”, Parte 2, Grandes Presas, Editora Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente, Madrid, pág 18.

<sup>9</sup> Crespo, T. (2009) “Recuperación de áreas degradadas por la actividad minera”, Capítulo 1, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, pág 6.

con la disminución de los riesgos en áreas aguas abajo, debido a la ocurrencia de fenómenos climatológicos asociados a las precipitaciones, ya sea por exceso o por defecto. La creación de grandes embalses trae consigo dos aspectos de considerable importancia: el almacenamiento de agua y la regulación con retardo de las avenidas, sobre todo aquellas obras que presentan los atributos necesarios para la regulación, como el caso de los aliviaderos con compuertas.

Si partimos, de que el riesgo (R) viene dado por:

$$R = P * C$$

Siendo: P, la probabilidad de ocurrencia del fenómeno; C, las consecuencias.

Expresándose también como:

$$R = P_e * V * C_{BE}$$

Pe, el peligro; V, la vulnerabilidad, y C<sub>BE</sub>, el costo de bien expuesto. <sup>10</sup>(Peñate, 2009)

Es indudable que la creación de un embalse adquiere valor, al disminuir los riesgos debido a:

- Disminución de la probabilidad de ocurrencia de inundaciones.
- En el caso de que estas sean inevitables, comúnmente asociadas a la ocurrencia de lluvias intensas ocasionadas por organismos tropicales, aunque no es posible evitar las inundaciones, infiere un retardo sobre las mismas, aumentando el tiempo para la preparación y prevención, lo que contribuye a disminuir los peligros y a que el medio sea menos vulnerable.
- Alivio en el abastecimiento de agua en las sequías intensas.

El ayudar a mantener el buen estado de estas obras aumenta el tiempo de su explotación, lo que conducirá a una prolongación de las entregas de aguas con diversos fines: Agrícolas, de abasto a la población, a centros económicos, lo que mejora los índices económicos respecto a la inversión inicial, además de mantener por más tiempo las condiciones económico-sociales de la zona: empleo, explotación del embalse en la pesca, con fines energéticos, de pesca, turísticos, además del no abandono o reducción del uso de las instalaciones y las vías de acceso.

---

<sup>10</sup> Peñate, J. L. (2009) "Introducción a los estudios de Riesgos", Tema 2, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río.

Es menester señalar que los beneficios de una prolongada vida útil son mucho mayores cuando la obra se explota a los niveles concebidos originalmente, lo que no ocurre siempre, derivado de sobrevalorar sus bondades o de cambios sustanciales en el entorno, algo que ocurre con demasiada frecuencia al momento de realizar los estudios de impacto ambiental.

<sup>11</sup>(Jaula, 2008)

La geología aporta la base de todas estas obras, por lo que es motivo de estudio esencial, como resultado arroja datos para el diseño, que en su concepto óptimo contiene dos aspectos fundamentales; economía-seguridad.

Materiales de origen natural son empleados como relleno en los distintos objetos de obra, cobrando singular importancia en las presas de materiales locales, donde se utilizan grandes cantidades con diferente finalidad. En estos casos para localizarlos, caracterizarlos y aportar datos para su control, es empleada nuevamente la ingeniería geológica.

La aparición de patologías introduce cambios negativos sustanciales, al disminuir la seguridad de la obra y aumentar los riesgos potenciales, afectando junto con ello sus niveles de explotación e incluso llegando hasta acortar la vida útil pronosticada.

Es por ello que tomar las medidas para erradicarlas o mitigarlas y de esta forma proporcionar seguridad a la obra, garantizando los niveles y tiempo de explotación planificado es una decisión que por lo general se impone ante cualquier cuestionamiento.

<sup>12</sup>(Reséndiz, 1988).

## **I.2. Acercamiento al entorno investigativo de las presas y las patologías.**

Las presas constituyen obras hidráulicas de un nivel complejo. El hombre fue capaz de construirlas a gran escala solo cuando alcanzó un loable desarrollo en la rama de la hidráulica, específicamente en la hidrología, y un dominio de la mecánica de suelo (sobre todo en el caso de las presas de materiales locales), no alcanzable antes del siglo XX.

Esta aseveración queda resumida de forma clara en la opinión de Daniel Reséndiz, en el prólogo al libro “Comportamiento de Presas construidas en México”, al expresar “Las presas de cualquier tipo son estructuras de comportamiento mecánico muy complejo. Esto

---

<sup>11</sup> Jaula, J. A. (2008) “Medio ambiente, ideología y desarrollo sostenible”, Centro de Estudios de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CEMARNA). Universidad de Pinar del Río, Pág. 1.

<sup>12</sup> Reséndiz, D. (1988) “Comportamiento de Presas construidas en México”, Editora Secretaria de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Ingeniería, Ciudad de México, pag V.

explica que los métodos para analizarlas y diseñarlas hallan progresado tan lentamente, y que se haya tenido que pagar, algunas veces, el alto precio de una falla catastrófica y en otras muchas ocasiones, quizá, el menos espectacular pero también alto de un diseño muy conservador”.<sup>13</sup>(Reséndiz, 1988).

A esta característica, de elevada complejidad de las obras, se suma el hecho que, el estudio geológico no se puede considerar como una variante simple, ya que se trata de un conjunto de componentes que presentan interrelaciones de gran importancia, que lo configuran como elemento complejo.<sup>14</sup>(Pinedo *et al.*, 1989).

A lo anterior también hay que añadir que actualmente se requiere construir presas en sitios de geología cada vez más desfavorable y compleja, donde el número de variables locales que influye significativamente en el comportamiento crece a tal grado, que el diseño viene a depender de las peculiaridades de cada caso más que de la semejanzas con otras estructuras del mismo género.<sup>15</sup>(Reséndiz, 1988).

Estos criterios, recogidos de un número reducido de autores, son compartidos por la generalidad de los especialistas, incluyendo los de nuestro país, que así lo han expuesto en la bibliografía referida al tema.

De lo expresado hasta el momento se deduce que el estudio ingeniero geológico de las patologías en estas obras, requiere de un alto nivel de especialización, en aras de lograr un conocimiento que va desde el dominio de temas relacionados con su diseño y construcción, hasta los geológicos básicos, con mayor énfasis en la hidrogeología y el comportamiento geotécnico de los materiales.

Este nivel de especialización y la singularidad de estos temas se ven reflejados también en la escasez manifiesta de información en los medios de comunicación actuales. Las compañías y profesionales en general publican en editoras y medios especializados, como son los casos de: Editoras de Universidades, Editoras de instituciones dedicadas a la explotación y manejo del agua, Editoras de la UNESCO, manuales de compañías constructoras o diseñadoras, entre otras.

---

<sup>13</sup> Reséndiz, D. (1988) “Comportamiento de Presas construidas en México”, Editora Secretaria de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Ingeniería, Ciudad de México, pág IV.

<sup>14</sup> Pinedo, A.; Gonzáles, S.; Del Pozo, I. (1995) “Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental”, Parte 2, Grandes Presas, Editora Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente, Madrid, pág 48.

<sup>15</sup> Reséndiz, D. (1988) “Comportamiento de Presas construidas en México”, Editora Secretaria de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Ingeniería, Ciudad de México, pág VI.

En el caso de Cuba se consultó una variada bibliografía en los niveles centrales y en distintos organismos y empresas dedicadas a estos temas, y no se halló referencia a documentación con similar fin. De forma general las entidades encargadas de estos estudios realizan el trabajo para una situación particular en obras donde se han presentado estas manifestaciones, dando soluciones de carácter particular, empleando diferentes métodos y estilos de trabajo, de acuerdo a la experiencia y situaciones particulares, no existiendo formas de proceder generales para casos como estos.

A continuación, se analizará un grupo de términos y definiciones relacionados con las presas, básicos para la comprensión del tema tratado por el trabajo investigativo. Se hará alusión a sus partes componentes y la función que realizan, a su clasificación según distintos criterios, así como a los tipos de patología que las afectan.

**Presa:** Muro fabricado con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construyen habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal con la finalidad de contener el agua en el cause fluvial, para su posterior aprovechamiento en abastecimiento o regadío, para elevar su nivel con el objetivo de derivarla a canalizaciones de riego, o para la producción de energía mecánica al transformar la energía potencial del almacenamiento en energía cinética, y esta nuevamente en dinámica al accionar la fuerza del agua un elemento móvil. <sup>16</sup>(Gutierrez, 2009).

### **Elementos principales componentes de una presa.**

**Aliviadero:** Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobre pase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque, o cualquier estructura que almacene agua, hacia un lugar conveniente. <sup>17</sup> (Carmiña, 2000).

**Embalse:** Se refiere al cuerpo o volumen de agua que la presa retiene, que tendrá una oscilación de su nivel y una regulación aguas debajo de la obra. <sup>18</sup>(Pinedo *et al.*, 1989).

---

<sup>16</sup> Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 11.

<sup>17</sup> Carmiña, R. (2000) “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico”, Sección II, Editora Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá, pág B. 25.

<sup>18</sup> Pinedo, A.; Gonzáles, S.; Del Pozo, I. (1995) “Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental”, Parte 2, Grandes Presas, Editora Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente, Madrid, pág 30.

Cortina: Terraplén de materiales locales que se construye en el valle del río para represar sus aguas y su geometría queda definido por taludes y bermas en su sección transversal.

<sup>19</sup>(Pequeñas Editorial Orbe Habana, 1981, en: Gutierrez, 2009),

Cimentación: Estructura a través de la cual se trasmite la carga de la obra al suelo, la caracterizan dos aspectos fundamentales, su ancho y su nivel de desplante. <sup>20</sup>(Ribas et al., 1982).

Obra de toma: Estructura que permite desaguar el embalse a diferentes alturas. Su número y capacidad dependen del volumen embalsado, de los servicios que haya que abastecer y de la profundidad del agua. <sup>21</sup>(Gonzáles et al., 2002).

Obras para el aprovechamiento hidroeléctrico: En este tipo de aprovechamiento se destacan las centrales hidroeléctricas (exteriores y subterráneas) y los túneles de trasvase y de carga. <sup>22</sup>(Gonzáles et al., 2002).

### **Clasificación de tipos de presas**

- Según el uso

Presas de almacenamiento: Se construye para embalsar el agua en los periodos que sobra, para utilizarla cuando escasea.

Presas de derivación: Se construyen ordinariamente para proporcionar la carga necesaria para desviar el agua hacia las zanjias, canales u otros sistemas de conducción al lugar donde se va a usar.

Presas reguladoras: Se construyen para retardar el escurrimiento de las avenidas y disminuir el efecto de las ocasionales. <sup>23</sup>(Pequeñas Editorial Orbe Habana, 1981 en: Gutierrez 2009)

- Según su proyecto hidráulico.

---

<sup>19</sup> Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 1.

<sup>20</sup> Ribas, J.A.; García, O. (1982). “Mecánica de suelo”, Editorial Pueblo y educación, Ciudad de la Habana, pág 264.

<sup>21</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 548.

<sup>22</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 548.

<sup>23</sup> Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 12.

Presas vertedoras: Se proyectan para descargar sobre sus coronas, deben dotarse de materiales que no se erosionen con tales descargas.

Presas no vertedoras: Son las que se proyectan para que el agua no rebase su corona. Este tipo de proyecto permite ampliar la elección de materiales, incluyendo las presas de tierra y las de enrocamiento. <sup>24</sup>(Pequeñas Editorial Orbe Habana, 1981 en: Gutierrez 2009).

- Según los materiales empleados en su construcción.

Presa de materiales sueltos, en Cuba más conocida como de materiales locales o de tierra. La principal característica es el tipo de material utilizado para su construcción. En principio la gran mayoría de materiales geológicos son aceptables, excepto los que se pueden alterar, disolver o evolucionar modificando sus propiedades. Dentro de las mismas se encuentran:

- Presas homogéneas y heterogéneas, división más difundida en Cuba.

Presas de sección homogénea: Toda o casi toda la sección transversal está constituida por un mismo material, formada por tierras compactadas de baja permeabilidad.

Presas heterogéneas. Entre las mismas se cuentan:

- ✓ Presas “zonadas” con núcleo impermeable: Constan de dos o más tipos de materiales. La zona de menos permeabilidad o núcleo ejerce la función de impermeable
- ✓ Presas de pantalla: El elemento impermeable consiste en una pantalla relativamente delgada o lámina. Los materiales más empleados son hormigones asfálticos, hidráulicos, materiales poliméricos o bituminosos, entre otros. aquí se conjugan materiales locales y de fábrica.
- ✓ Presas de escollera: El material que forma la presa son fragmentos rocosos de diferente granulometría.

En el Anexo gráfico 1 aparecen representadas esquemáticamente estos tipos de presas.

- Presas de fábricas.
- ✓ Presas de gravedad: Su sección transversal es resistente por si sola, sin la colaboración mecánica de los estribos del valle.
- ✓ Presas arco-gravedad: Para reducir la sección de las presas de gravedad se dispone su planta en arco, con el objeto de transmitir parte de las cargas a los estribos.

---

<sup>24</sup> Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 13.



- ✓ Presas de contrafuertes: Son presas de gravedad aligeradas, formadas por elementos estructurales transversales a la sección o contrafuertes con el objetivo de reducir volúmenes de obra de fábrica y disminuir subpresiones, entre otros fines.
- ✓ Presa arco-bóveda: Constituyen las de mayor complejidad de diseño, análisis y construcción, pues se trata de estructuras muy esbeltas, de planta y sección curvas, en que se aprovecha la alta resistencia del terreno de cimentación para disminuir notablemente el volumen de hormigón.
- ✓ Presa de hormigón compactado: Consiste en construir la presa con los equipos y técnicas de materiales sueltos, colocando el hormigón con capas de 30 cm, extendidas con palas y compactadas con rodillos vibradores. <sup>25</sup>(González *et al.*, 2002).

En el Anexo gráfico 2 aparecen varios ejemplos de presas de fábrica y de tierra, construidas en España.

### **Patologías presentes en las presas**

Primeramente, se hará referencia a algunos términos generales.

Vida útil: Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento. <sup>26</sup>(Carriña, 2000)

La Norma Cubana <sup>27</sup>(NC52-55,1982), define el tiempo de vida útil como: Tiempo durante el cual la construcción o sus elementos componentes, mantiene dentro de niveles aceptables sus condiciones técnicas, higiénico-ambientales, funcionales y de seguridad, sometida a una explotación normal y recibiendo trabajos periódicos de conservación. Proceso patológico es la secuencia que comprende el origen y las causas del estado de lesión o desperfecto de la edificación, la evolución del proceso de deterioro, sus síntomas y finalmente las manifestaciones de deterioro que se detectan u observan en las construcciones afectadas.

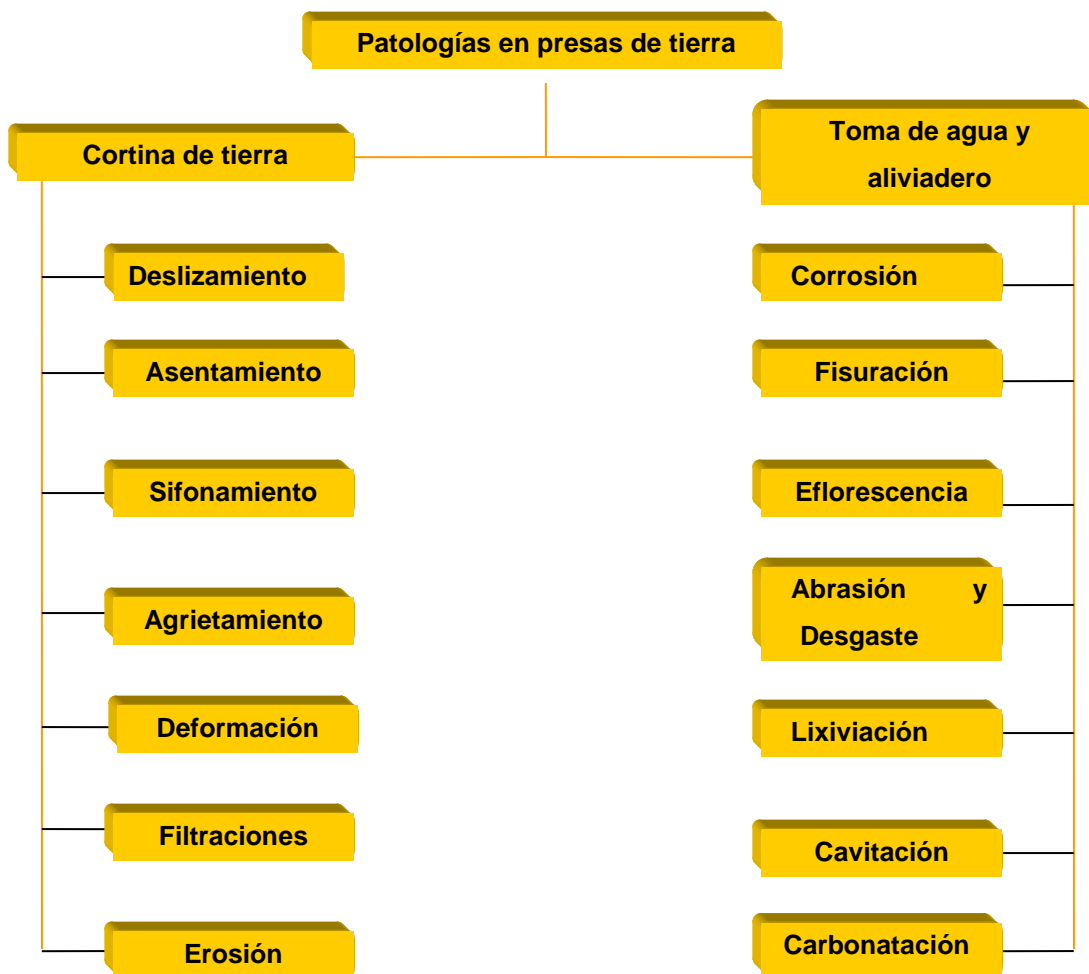
---

<sup>25</sup> González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, págs 544-545.

<sup>26</sup> Carriña, R. (2000) “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico”, Sección II, Editora Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá, pág B26

<sup>27</sup> Comité estatal de normalización. República de Cuba. (1982). “Construcción y Montaje, Explotación y Conservación de arquitectura e ingeniería. Términos y definición”

Para su clasificación se parte de la dada por <sup>28</sup>(Cherry, 2006 en: Gutiérrez ,2009), que no solo abarca lo que en el trabajo investigativo se nombra como patologías de origen geológico.



La clasificación expuesta se concentra en la cortina, lo que se hace extensivo a la base geológica, teniendo en cuenta que ambas se hallan estrechamente relacionadas y su estudio debe desarrollarse bajo una concepción integral. <sup>29</sup>(Díaz *et al.*, 2003).

A continuación, se hará una breve referencia al contenido de cada patología, tratando de vincular la terminología a la más usada en esta práctica ingenieril.

<sup>28</sup> Gutiérrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 21.

<sup>29</sup> Díaz T., Ruíz, O., Sarduy, F. (2003) “Causas que motivaron las filtraciones en la presa Zaza; investigaciones para su solución definitiva”, Revista Voluntad hidráulica, # 95 Ciudad de la Habana, pág29.

Atendiendo a lo planteado por <sup>30</sup>(Armas y Horta, 1987), de estas patologías geológicas, las que más provocan causas de falla, son:

- El sifonamiento de la base o el terraplén.
- El deslizamiento del talud aguas abajo
- El agrietamiento transversal

Sifonamiento: Cuando el agua fluye a través del suelo, su carga hidráulica se disipa venciendo las fuerzas viscosas inducidas y que se oponen al flujo en los canalículos formados entre las partículas; recíprocamente, el agua que fluye genera fuerzas erosivas que tienden a empujar las partículas, arrastrándolas en la dirección del flujo. En el momento en que este arrastre se produce, ha comenzado el sifonamiento mecánico del suelo.<sup>31</sup>(Armas, 2002)

Deslizamiento: Son fenómenos espectaculares y peligrosos. Se producen cuando a lo largo de una determinada superficie de falla se ejercen esfuerzos de cortante mayores que los que puede movilizar el suelo en esa superficie. Pueden movilizar solo parte de la cortina o llegar a afectar la base, y originarse a partir del agrietamiento. <sup>32</sup>(Armas, 2002)

Agrietamiento: El agrietamiento se origina cuando la deformación de la cortina produce zonas de tracción, que aparecen por asentamiento diferencial de la masa del suelo, sea por deformación del propio cuerpo del terraplén o del terreno de cimentación. Como quiera que por estas causas la presa pueda deformarse de muchos modos, los sistemas de agrietamiento que el ingeniero puede encontrar en sus inspecciones a presas son de una inmensa variedad. <sup>33</sup>(Armas, 2002).

Las grietas atendiendo a su rumbo, se dividen en longitudinales o transversales. Las primeras son las que tiene un rumbo perpendicular a su sección transversal, las segundas son paralelas a la sección transversal, siendo las de mayor peligrosidad.

Asentamientos: Tienen lugar al reducirse el espesor de un estrato debido a la reducción de su parte vacía, lo que tiene que ver con la consolidación de esa masa de suelo al aplicársele

---

<sup>30</sup> Armas, R., Horta, E. (1987) “Presas de tierra”, Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana, pág 182.

<sup>31</sup> Armas, R. (2002) “Criterios para diseñar presas de tierra: Prioridad y secuencia”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba, pág 3.

<sup>32</sup> Armas, R. (2002) “Criterios para diseñar presas de tierra: Prioridad y secuencia”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba, pág 5.

<sup>33</sup> Armas, R. (2002) “Criterios para diseñar presas de tierra: Prioridad y secuencia”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba, pág 4.

determinada carga. Cuando la respuesta de los diferentes estratos y/o las cargas que tiene lugar en los distintos puntos no es la misma, ocurren diferentes grados de asentamientos, diferencias que se conocen como asentamientos diferenciales, que de ser marcados son muy peligrosos.<sup>34</sup>(Ribas *et al*, 1982).

Deformación: En las presas como en cualquier otro tipo de construcciones donde se altera el medio al aplicar esfuerzos, tienen lugar deformaciones, que pasan por la respuesta de cada tipo de suelo a la carga que se le impone, lo que también se conoce como resistencia intrínseca del suelo, que al ser menor que los esfuerzos aplicados, el suelo falla, por la llamada resistencia al cortante, dando lugar a desplazamientos importantes de su masa, provocando problemas a la estabilidad del medio, que en el caso de las presas de tierra se pueden resumir en tres:

1. La estabilidad de tipo estático: entendiendo por tal la necesidad de que el coeficiente de seguridad, frente a un deslizamiento total o parcial que afecte a la presa o a su cimentación, sea aceptable, bajo las fuerzas másicas que actúan de una forma permanente, como son el peso propio de la obra, las fuerzas de filtración y de la presión intersticial del agua en las diversas circunstancias que se presentan normalmente en la vida de la presa. Este tema está ligado fundamentalmente con la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales que la componen, de una forma menos acusada con la deformabilidad y permeabilidad de los mismos.
2. La estabilidad de tipo interno: llamando así a la permanencia de la funcionalidad de cada una de las partes de la presa en especial la del núcleo o pantalla de impermeabilización. Problemas como la fisuración, erosión externa, pero principalmente la interna o sifonamiento, preocupan cada vez más a los técnicos de presas. La dispersabilidad de los materiales, su deformabilidad, su colapsabilidad, la geometría de la sección tipo y de los contornos de la obra, juegan un papel decisivo en su correcto funcionamiento.
3. La estabilidad de tipo dinámico: en aquellos casos en los que la sismicidad del emplazamiento sea de tener en cuenta, si bien la mayor parte de las veces esta sollicitación se transforma en otra de tipo estático equivalente, en casos especiales o importantes; es

---

<sup>34</sup> Ribas, J.A.; García, O. (1982). "Mecánica de suelo", Editorial Pueblo y educación, Ciudad de la Habana, pág 173.

preciso efectuar un análisis verdaderamente dinámico del comportamiento de la obra.<sup>35</sup>  
(Alvarez Gil, 1998 en: Gutierrez, 2009)

Erosión interna: Se genera al crearse gradientes hidráulicos elevados en materiales erosionables.<sup>36</sup>(Gonzáles *et al.*, 2002).

Filtraciones: Al analizar el flujo del agua a través de la cortina y del terreno de la cimentación de una presa, se obtiene información de tres cuestiones fundamentales.

- El gasto de agua de infiltración a través de la zona de flujo
- La influencia del flujo del agua sobre la estabilidad general de la masa de suelo a través de la que ocurre
- Las posibilidades del agua de infiltración de producir arrastres de material sólido, erosiones y sifonamiento.<sup>37</sup>(Armas y Horta 1987).

Además de estos fenómenos referidos, se pueden nombrar como formas especiales la presencia de suelos dispersivos y licuefactables.

Suelos dispersivos: Son aquellos cuya composición mineralógica y fábrica es tal, que las fuerzas repulsivas entre las partículas finas (arcillas) exceden de las fuerzas de atracción de esas partículas.<sup>38</sup>(Gonzáles *et al.*, 2002)

El fenómeno se puede ver como un caso especial de sifonamiento, solo que este último es un proceso que tiene lugar en las zonas más sueltas del suelo, no vinculándose a materiales tan finos.<sup>39</sup>(Armas y Horta, 1987).

Suelos licuefactables: Se denominan así aquellos suelos que con un contenido predominante areno-limoso, en estado saturado, al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, permiten un aumento de las presiones intersticiales (por falta de drenaje) hasta valores del orden de la presión total existente.<sup>40</sup>(Gonzáles *et al.*, 2002).

---

<sup>35</sup> Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba, pág 21.

<sup>36</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 555

<sup>37</sup> Armas, R., Horta, E. (1987) “Presas de tierra”, Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana, pág 86.

<sup>38</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 110.

<sup>39</sup> Armas, R., Horta, E. (1987) “Presas de tierra”, Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana, pág 86.

<sup>40</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 114.

La exposición de los problemas referidos por cada término muestra que los procesos están estrechamente relacionados, lo que prueba la validez de estudiarlos integralmente. La ocurrencia de un fenómeno puede dar lugar a otro, y a su vez estos presentar fronteras difusas. Un ejemplo es lo expuesto en cuanto a las filtraciones, donde puede ocurrir solo el flujo del agua, pero es muy probable que esto no sea así y en un momento dado, muy difícil de predecir, comenzar a producirse problemas de sifonamiento o de estabilidad, los que, a su vez, incrementan el flujo del agua, interactuando los procesos en más de un sentido.

<sup>41</sup>(Díaz, *et al.*, 1999).

Además de los señalados puede ocurrir la destrucción de estas obras a causa de la ocurrencia de sismos, fenómenos naturales destructivos, espectaculares, que pueden dar lugar a la destrucción parcial o total de las obras, por la pérdida de la estabilidad, sobre todo sino se han cumplido con los requisitos que demanda el hecho de estar ubicada la obra en una región enmarcada por su frecuente ocurrencia.

### **I.3 Apuntes sobre la forma de actuar ante las patologías**

Dentro de las patologías que afectan a las presas son frecuentes aquellas que tienen un origen geológico. Estas pueden afectar sus bases, a los materiales de construcción (cuando son de tipo locales, como en la gran mayoría de los embalses cubanos), o a ambos.

La aparición de fenómenos indeseables en las obras como son los casos de agrietamientos, fugas de agua, humedecimiento de los materiales, deslizamientos de diferentes magnitudes; asentamientos, sifonamiento, presencia de suelos dispersivos; se han presentado a lo largo y ancho del país, en diferentes épocas y circunstancias.

Como es práctica internacional, estos fenómenos adversos, siempre han necesitado de una respuesta rápida, que proporcione una mejoría inmediata a la obra, y con ello un aumento más o menos duradero, incluso a veces solo momentáneo, de su seguridad.

Las medidas correctoras han sido aplicadas por el personal de las diferentes instituciones del sistema del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), con la ayuda de fuerzas constructoras de apoyo de otros organismos.

---

<sup>41</sup> Díaz, T., San Román, N., Ruíz, O. (1999) "Investigación para la solución de las filtraciones, cortina presa Zaza", EIPH VC, Santa Clara, pág 27.

Con independencia de la magnitud de los problemas siempre ha sido necesaria y lo será, la intervención de personal técnico, capaz de tomar decisiones, y en caso de ser necesario, diseñar medidas correctoras y dar seguimiento a su ejecución.

Este personal técnico especializado, en numerosas ocasiones actúa basándose en la experiencia e intuición, disponiendo de muy poco tiempo para estudiar a fondo la patología., la afectación de áreas localizadas aguas abajo de las presas, sobre todo las movilizaciones de personas; son factores que traen conmoción, conspirando contra la ejecución de estudios profundos que aporten más conocimiento sobre el estado de la obra, lo que repercute en la falta de claridad y congruencia a la hora de establecer su alcance.

<sup>42</sup>(Ramos, 2003).

Lógicamente la premura conduce a la introducción de errores, es frecuente que las medidas se adopten sobre dimensionadas, con el aumento de los costos de inversión inicial, o por el contrario, sub dimensionadas, con un efecto parcial, incompleto sobre el fenómeno adverso<sup>43</sup> (Álvarez, 1999).

A lo anterior también contribuye el poco aporte práctico que con demasiada frecuencia los estudios ingeniero geológicos de las patologías han arrojado, por su demora o alto nivel de incertidumbre, conllevando a que los especialistas a cargo, por lo general con escasos conocimientos de esta disciplina, opten por prescindir de ellos, sobre todo los de más experiencia.

A estos resultados de las investigaciones ingeniero geológicas ha contribuido no solo lo expuesto anteriormente sobre su alcance, sino también la falta de claridad en su contenido. Los trabajos son igualmente ejecutados basándose en la experiencia e intuición de los especialistas, a lo que contribuye el hecho de ser este un tema de mucho interés, pero a la vez muy especializado.

Los documentos normativos <sup>44</sup>(NC 53-151, 1985), regulatorios, indicativos de la forma de proceder <sup>45</sup>(102-PRO-02, 2009), la bibliografía existente de forma general <sup>46</sup>(González, *et*

---

<sup>42</sup> Ramos, A. (2002) “Proyecto para solución del fallo de la cortina presa Lebrije”, EIPH VC, Santa Clara, págs 8 a 16.

<sup>43</sup> Álvarez, A., (1999) “Proyecto para la solución de las filtraciones en la presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara, pág 17.

<sup>44</sup> Comité estatal de normalización. República de Cuba. (1985) “Procedimiento para la ejecución de las etapas de las investigaciones ingeniero geológicas de las presas de materiales locales”.

<sup>45</sup> Peñate, J. L. (2009) “Procedimiento para las investigaciones en presas y derivadoras”, EIPH VC, Santa Clara.

*al.*, 2002) abunda en el tema, de las investigaciones para el diseño de la obra, es decir antes de ser construida. No es de esperar la introducción de documentos regulatorios y normativos, para evaluar situaciones provocadas por situaciones adversas, que no deben tener lugar.

La literatura referida a este tema es más dada a brindar los detalles de las patologías y las soluciones, existe mayor inclinación a mostrar los resultados de los trabajos de proyecto y las labores constructivas.

Un ejemplo de esta tendencia lo constituye el proceso de modelación, muy empleado actualmente con indudables resultados, pero que constituye una herramienta más dirigida a la parte diseñadora, al partir de un marco geológico preestablecido, modelando los efectos que la patología puede producir sobre el mismo.

Por lo general es común que el medio geológico quede reducido a un marco referencial, sin detallar como se logró alcanzar e incluso sin graficar los trabajos a escala real, es decir sin el nivel de aproximación empleado.

---

<sup>46</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid, pág 550.



### **Conclusiones parciales del capítulo.**

1. Las presas son obras hidráulicas que se caracterizan por su alto nivel de complejidad, por lo que requieren de un grupo de habilidades y experiencia por parte de los especialistas a cargo de su concepción, construcción y reparación.
2. Las investigaciones ingeniero geológicas que tienen que ver con las presas, tanto para su diseño como para estudios de procesos patológicos, también son altamente complejas, y requieren no solo de conocimientos propios de la disciplina, sino también del comportamiento hidráulico y estructural de este tipo de obra.
3. En general la literatura que trata el tema del trabajo investigativo no es basta, debido entre otros factores, a que esta es una labor altamente especializada.
4. En Cuba se han presentado en las presas procesos patológicos de diferentes tipos, que han requerido como es habitual para estos casos, de una respuesta rápida por parte de los especialistas a cargo de su cuidado y conservación.
5. Dada la inmediatez que por lo general requieren estas respuestas, en muchas ocasiones las medidas tomadas no se han basado en estudios profundos de la patología manifiesta.
6. A lo anterior ha contribuido la presencia de cierta anarquía en los pasos a seguir y de resultados ambiguos en las investigaciones ingeniero geológicas.

## **Capítulo II. Procedimiento de los estudios ingeniero geológicos de las patologías en presas de tierra**

El siguiente capítulo tiene la intención de establecer los valores del trabajo investigativo, a través de la exposición de una forma de proceder para efectuar los estudios para la solución de las patologías de origen geológico en las presas, al existir ambigüedades e incongruencias en el momento de abordarlos por los especialistas y técnicos en general.

En el capítulo se fijan los pasos a cumplimentar, es decir se propone un orden y se sugieren las técnicas investigativas a aplicar, lo que se vincula al establecimiento del contenido que debe guiar las investigaciones.

Posteriormente se enumeran los objetivos mínimos e indispensables que debe proponerse el estudio.

Como un valor añadido de los resultados al final se expone una idea acerca de la importancia y las ventajas de la ejecución temprana de estos tipos de estudio.

### **II.1. Agrupación de los objetos de estudio**

Resulta ventajoso, antes de comenzar la investigación, realizar la agrupación de los objetos bajo estudio. Se propone es realizar la misma atendiendo el área de acción del fenómeno perjudicial. En total los objetos bajo estudio se agrupan en tres.

La patología puede afectar a:

- ✓ La base de la obra:  
Los problemas de este tipo son los mismos que afectan a cualquier cimentación: de resistencia y/o deformación, pero con la agravante de la acción del agua de forma permanente. Su paso inevitable a través de la base de la cortina da lugar a pérdidas desde el embalse, pero a su vez afecta la resistencia de los materiales presentes, llegando incluso a niveles más allá de lo previsto, momento en que es posible la ocurrencia de problemas de estabilidad. <sup>47</sup>(Sherad, 1970)
- ✓ Relleno o cuerpo de la obra:

---

<sup>47</sup> Sherad. J. L., (1970), "Earth and earth-rock dams", Editora Instituto cubano del libro, pág 287.

A los problemas referidos en la base se adicionan los de estabilidad de taludes. La presencia del agua es nuevamente inevitable, por lo que el pronóstico de su tránsito a través de la cortina es de importancia vital para la estabilidad de la obra. Un esquema de flujo diferente al previsto en el diseño trae efectos negativos sobre los materiales, más allá de lo diagnosticado.<sup>48</sup> (Sherad, 1970)

Otro aspecto esencial al que ya nos referimos es el control de los materiales de construcción en las presas locales. El empleo de elementos ingeniero geológicos en la construcción requiere de una caracterización previa detallada y de una posterior explotación y colocación rigurosas, que garantice la coincidencia entre las propiedades físico mecánicas empleadas en el diseño, con las reales en la obra.<sup>49</sup> (Gonzáles, *et al.*, 2002)

✓ La base y el cuerpo de la obra.

Es común que un fenómeno afecte a la base y el cuerpo de la obra, al tener estos una relación muy estrecha, por lo que analizarlos de forma aislada y no en interacción es una concepción errónea. Un fenómeno de origen geológico puede estar ocurriendo en un objeto y perjudicar la estabilidad del otro, en el mismo instante o posteriormente, siendo más común que los problemas de la base se trasladen al cuerpo de la obra y no lo contrario.<sup>50</sup> (Díaz, *et al.*, 2003).

## **II.2. Pasos a seguir en el desarrollo de los estudios.**

A continuación, se expondrá un orden a seguir y las diferentes técnicas investigativas que deben ser aplicadas por la investigación.

### **II.2.1. Estudio bibliográfico**

Se debe comenzar por este aspecto, lo que **no constituye novedad** alguna al ser este, un primer paso establecido para todo tipo de trabajo ingeniero geológico.

Se debe consultar toda la bibliografía referente a la obra y al medio, es decir el proyecto y los estudios geológicos de la zona.

---

<sup>48</sup> Sherad. J. L., (1970), "Earth and earth-rock dams", Editora Instituto cubano del libro, pág 271.

<sup>49</sup> Gonzáles de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) "Ingeniería Geológica", Editora Pearson Educación, Madrid, pág 558.

<sup>50</sup> Díaz T., Ruíz, O., Sarduy, F. (2003) "Causas que motivaron las filtraciones en la presa Zaza; investigaciones para su solución definitiva". Revista Voluntad hidráulica, # 95 Ciudad de la Habana, pág29.

Para no incidir en pérdidas de tiempo y no atiborrarse de información, a veces innecesaria, e incluso hasta contradictoria, se debe poner énfasis en los estudios detallados, es decir ejecutivos, tanto del diseño del objeto de obra afectado como de algún trabajo posterior, profundizando en la información del área involucrada.

Es de mucho interés el conocimiento de los materiales que componen la base, el ambiente general y particular del lugar, lo que se logra al establecer los elementos ingeniero geológicos presentes, sus propiedades, su distribución, así como sus propiedades.

Estos son aspectos muy importantes que ofrecen índices acerca de las posibilidades que tiene la capa de ser afectada o no, en función de la patología que se trate, dada la tendencia de la capa a sufrir esta afectación. Por ejemplo, si se trata de filtraciones, estas deben vincularse a los materiales más permeables, es decir arenosos, gravosos, rocas agrietadas por motivos tectónicos o no. Si se trata de problemas de asentamientos, es de esperar que involucren capas finas, con posible presencia de materia orgánica.

Contar con un acercamiento importante al conocimiento de las condiciones ingeniero geológicas del lugar antes de emprender cualquier trabajo, es una ventaja que de ninguna manera se debe menospreciar.

De igual interés es el conocimiento del proyecto, aspecto muy relevante, ya que nos ofrece una idea sobre el grado de vulnerabilidad que presenta la obra al ser afectada por un fenómeno dado.

De su estudio debemos extraer conocimientos básicos acerca de la conjugación del cuerpo de la obra con la base, la toma de alguna medida adicional no concebida al comienzo o por el contrario la no ejecución de alguna prevista en el diseño

Igualmente debe ser de interés familiarizarse con la composición de los objetos de obra, particularmente; materiales empleados, su colocación y funciones a las que se vincula (como en el caso de los filtros), concepción de los taludes, y la presencia o no de elementos protectores, entre otros elementos que pueden resultar de interés.

### **II.2.2. Estudio de la patología o del efecto.**

Muchas veces este aspecto se trata primero, es decir la presencia de cualquier tipo de patología conlleva a la solicitud rápida de especialistas, sobre todo con la intención de ayudar a la evaluación de su envergadura para la posterior toma de decisiones.

Este primer acercamiento se desarrolla de forma intuitiva, en ocasiones en dependencia del tiempo disponible, se realiza un estudio por lo general somero de los aspectos anteriores, emitiendo criterios para fundamentar la toma o no de medidas para mitigar los efectos, y con ello proporcionar a la obra un nivel de seguridad permisible

Una vez solucionado el problema de proporcionar un nivel de seguridad temporal a la presa, que le permita realizar sus funciones total o parcialmente, por lo general se solicita entonces el estudio ingeniero geológico, buscando la solución definitiva del problema presentado.

Por lo tanto, aunque se halla participado en la solución al problema presentado de una forma más o menos relevante, y se conozca la patología de antemano, se debe realizar una evaluación detallada de la misma, junto con la consulta bibliográfica y el estudio del comportamiento histórico de la obra, de forma tal que se pueda establecer sus vínculos con el desarrollo del fenómeno dado.

### **II.2.3. Estudio de los registros de control de las obras.**

Tomando como punto de partida la información suministrada por los pasos anteriores, se está en condiciones de estudiar la historia de la obra, a través de la consulta de la información referente a su comportamiento en el tiempo, incluyendo información verbal. Es importante la lectura de la información emitida por los explotadores, poniendo énfasis en los informes que se emiten debido a comportamientos anómalos, vinculados o no a eventos extremos.

Por supuesto que deben ser objeto de estudio detallado los registros de equipos de control, que en nuestro país tienen como base la información visual de los explotadores en las propias obras con el record diario para casos relevantes, la consulta de los datos de los aforos superficiales, conocidos como vertedores,<sup>51</sup> (Ferro, 1982); así como de piezómetros, donde sea posible contar con los mismos, ya que existen presas que adolecen de este tipo de control, y en otros casos no funcionan adecuadamente, lo que puede conducir a errores de interpretación.

De forma general este es un aspecto a mejorar en el país, tanto en calidad como en cantidad de equipos instalados, estos ayudan a conocer las condiciones de trabajo de los objetos de

---

<sup>51</sup> Ferro, F. (1982) "Hidrología general", Editora Científico – Técnica, Ciudad de la Habana, pág 167.

obra, control de inestimable valor para prever comportamientos anómalos.<sup>52</sup> (Reséndiz, 1988)

Tal carencia debe suplirse por observaciones visuales y por la experiencia de los explotadores.

Al no contar en el país con una red de observación al más alto nivel, agudiza más la necesidad de realizar los estudios ingeniero geológicos de forma más profiláctica, antes de que se produzcan daños y afectaciones.

#### **II.2.4. Aplicación de técnicas comunes a las investigaciones aplicadas.**

La aplicación de estas técnicas es clave, se debe disponer de ellas, y aplicar en un orden y un alcance definidos.

##### **II.2.4.1. Levantamiento ingeniero geológico.**

Es muy importante el recorrido por el área afectada ya de forma detallada, tanto en la cortina como en la base, llegando más allá de los límites comprometidos con la alteración. Esto permite identificar las capas ingeniero geológicas presentes en superficie que se describen en los informes, y además, de hallar cortes artificiales o naturales, visualizar las capas subyacentes, verificando también, elementos trascendentales, tales como: formas de contacto, yacencia de las capas, agrietamiento, es decir, todo lo que nos aporte conocimientos del medio.

Muchas veces el levantamiento se ve limitado aguas arriba de la cortina por la presencia del agua, por lo que en el cuerpo y aguas abajo de la misma, se debe realizar el levantamiento con extremo detalle para aprovechar toda la información disponible.

Concluida esta actividad y con los datos aportados por las anteriores técnicas, se debe estar en condiciones de programar con certeza el resto de los métodos de estudio en campo, basado en que el equipo de especialistas debe tener suficientes elementos de juicio para aplicar estas disciplinas, al tener establecido con alto nivel de seguridad la posible extensión del problema, así como la profundidad y los elementos ingeniero geológicos involucrados, y tener idea acerca del origen del fenómeno, así como de los mecanismos

---

<sup>52</sup> Reséndiz, D. (1988) “Comportamiento de Presas construidas en México”, Editora Secretaria de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Ingeniería, Ciudad de México, pág VI.

concurrentes. En estos dos últimos aspectos se debe ser cuidadoso, y no dejar que la intuición y experiencia obtenga una influencia exagerada sobre la programación y llegue a cuestionar la información que se va a ir obteniendo, dándole mayor o menor peso a los datos, influenciado por un criterio inicial.

#### **II.2.4.2. Métodos geofísicos.**

Las técnicas geofísicas ayudan a trazar el contorno del fenómeno y al estudio de sus características internas.

Con independencia del problema que se trate, los trabajos geofísicos deben ejecutarse antes de las perforaciones, al aportar calidad a la programación de estas. De esta manera al inicio el peso principal lo reciben los métodos superficiales, de ellos los métodos geoeléctricos han demostrado tener validez por su rapidez y poder resolutivo para estos fines. A esto ayuda la presencia del agua, que es inevitable: suelos contrastantes en la saturación, agua en movimiento, velocidades de flujo diferentes en profundidad y longitud, discontinuidades saturadas o no; son estados captables por estos métodos, con independencia de la existencia de contrastes de tipo litológico, diferencia que por supuesto también pueden ser notadas.

No se debe descartar la aplicación de cualquier otro método geofísico superficial, con empleo más o menos habitual, como el caso de las variantes sísmicas, todo depende de las características del fenómeno y del aporte a esperar por uno u otro, en dependencia de su alcance, siendo recomendable no exceder ni minimizar las expectativas. Se debe tener claridad de lo que se espera y en correspondencia con ello exigir resultados.

Una vez ejecutadas las perforaciones se pueden aplicar técnicas de pozo, lo que nos permitirá ganar en claridad respecto al corte y sobre todo delimitar zonas con contrastes producidos por la presencia del agua. <sup>53</sup>(Martínez, 1999).

#### **II.2.4.3. Perforación, pruebas in situ y muestreo.**

Como en todo tipo de investigación deben aplicarse al final de los trabajos de campo, quedando solo los estudios geofísicos de pozo, el monitoreo y muestreos complementarios, que se realizan aprovechando las perforaciones, una vez preparadas para ello.

---

<sup>53</sup> Martínez, E. (1999) “Estudio geofísico reparación cortina presa Zaza, segunda etapa”, EIPH VC, Santa Clara, pág 7.

Se encargarán de demostrar los datos aportados por los geofísicos y los anteriores métodos ya ejecutados, corroborando o no el cuadro ingeniero geológico que en este punto de la investigación deben formularse los investigadores, acerca del estado de los materiales, sus contactos o correlación, desarrollo del agrietamiento, zonas de riesgo y magnitud de los mismos

Tienen el objetivo de contornear con detalle el fenómeno y ayudar al estudio del área afectada, al permitir el acceso a la misma de forma directa, por ello debe realizarse con métodos que aseguren la recuperación de los testigos para la descripción visual de los elementos ingeniero geológicos y garantizar el muestreo.

El dejar claro estos dos objetivos básicos debe primar sobre cualquier aspecto que implique ahorro de trabajos investigativos, prevaleciendo sobre criterios normativos o de otra índole preestablecidos.

Es necesario observar que el tratar de establecer las fronteras del fenómeno conlleva a que las perforaciones deben penetrar más allá de la zona afectada, tanto en profundidad como longitudinalmente, consideración que se prolonga a los estudios geofísicos.

Al unísono con los trabajos de perforación se emplean las técnicas de ensayos in situ, de inestimable valor para estudios ingeniero geológicos en general al aportar resultados esclarecedores.

Ensayos de penetración estándar (Standar Penetration Test; SPT, por sus siglas en inglés) y de permeabilidad, incluyendo las de inyección de agua, han sido probadas con resultados positivos, fenómenos como las filtraciones, y el sifonamiento, traen aparejadas alteraciones de las condiciones en las capas afectadas, que suelen reflejarse con mucha claridad en los registros de estos ensayos.

El muestreo debe ser tanto alterado como inalterado, para garantizar que los ensayos de laboratorio cumplan su función, siendo igualmente dirigido a los dos objetivos básicos referidos anteriormente. Para ello se debe poner especial cuidado en su ejecución, suelen tener lugar con demasiada frecuencia errores en su distribución, por exceso o por defecto de muestras en uno o varios elementos ingeniero geológicos.



#### **II.2.4.4. Ensayos de Laboratorio.**

Los ensayos de laboratorio aportan el conocimiento de las propiedades de las capas ingeniero geológicas bajo estudio, y con ello permiten un acercamiento a su estado actual. De contar con la referencia de estudios anteriores, se pueden comparar resultados, y con ello divisar si han existido cambios y su envergadura, en cuanto a: El grado de alteración de las capas, su deterioro en el tiempo, correspondencia de sus propiedades con las empleadas por el proyecto original; que son elementos importantes para el conocimiento de la dimensión de la afectación, corroborando lo que pudo ser captado por las perforaciones, las pruebas in situ y los métodos geofísicos.

Una vez vencidas todas estas etapas se debe estar en condiciones de cumplimentar los objetivos de la investigación planteados originalmente, la caracterización del fenómeno, su delimitación, origen y mecanismos propulsores. Esto brindará la información para que las decisiones tengan un mayor fundamento técnico científico, proporcionando una mayor calidad a las medidas ingenieriles.

#### **II.2.5. Elaboración del informe final**

Cumplidas todas las etapas anteriores, con la información recopilada se debe emitir un informe final, que incluya en sus resultados todas las técnicas aplicadas, por lo que de antemano se supone sea elaborado por un equipo multidisciplinario, que se proponga redactar un documento integrador, de esta forma las diferentes partes interesadas, incluyendo los explotadores de la obra, tendrán una información abarcadora, única, como resultado de la investigación.

Se hace necesario insistir en este aspecto, ya que a lo largo del trabajo se emiten informes con diferentes intereses. Es práctica que las distintas especialidades redacten informes con los resultados obtenidos por ellos, y que dada la premura se solicite la emisión de alguna documentación para la toma de alguna medida parcial o de urgencia, muchas veces denominadas “informes parciales”, que, como su nombre lo indica, contienen resultados, después de vencida una o varias etapas, los cuales se considera útiles y en muchas ocasiones imprescindibles, pero que a la vez no cumplen con el requisito de abarcar todo el alcance que se le debe exigir a la investigación.

La proforma de estos informes no debe diferir de la habitual para los casos de las investigaciones ingeniero geológicas, siendo igualmente importante mostrar entre los documentos básicos y guías de su realización, como son los casos de las tareas técnicas y las normas y procedimientos regulatorios.

#### **II.2.6. Participación en el diseño de las medidas.**

Al poner término a la etapa de campo, con el procesamiento y análisis de toda la información se está en condiciones de aportar calidad a la toma de decisiones y de ser necesarias, a la proyección de las medidas de mejoramiento. Para ello se considera vital que la participación de los investigadores no se limite a plasmar en una información los resultados, sino que debe interactuarse con el equipo de diseño, sintiéndose parte del mismo, y de esta forma ser más efectivo para transmitir el conocimiento alcanzado, a la vez que se logre visualizar mejor la efectividad de los trabajos a realizar. <sup>54</sup>(Ministerio de Justicia, 2006)

La participación debe ser consiente y sistemática.

#### **II.2.7. Participación en el control de la aplicación de las medidas.**

En esta etapa ocurre con frecuencia que los investigadores no participan o lo hacen de forma muy limitada, factor que puede afectar los resultados de la corrección del fenómeno investigado, a la postre, objetivo final de todos los involucrados.

La correspondencia entre lo planteado por investigadores y proyectistas con los trabajos que se ejecutan, la marcha de los mismos, su calidad, la participación de forma activa en el intercambio con inversionistas y ejecutores, estar al tanto de los cambios al diseño, su la envergadura de estos, el seguimiento y control del proceso; son algunos de los elementos que se deben seguir de manera detallada.

Puede suceder que decisiones erróneas o trabajos sin calidad echen por tierra la labor realizada, no logrando el objetivo de mejoramiento planteado inicialmente, llegando incluso a no quedar esclarecido el origen de los problemas, siendo posible entonces dada la incertidumbre, achacar a la investigación, la pobre efectividad alcanzada.

---

<sup>54</sup> Ministerio de Justicia, República de Cuba. (2006) “Resolución N° 91. Indicaciones para el proceso inversionista”, pág 101.

Esta propuesta no descarta la aplicación de otras técnicas, sobre todo en el caso de las investigativas de campo, lo que debe quedar claro es que la aplicación de cada una debe tener sus objetivos bien delineados.

A continuación se ofrece un esquema del procedimiento propuesto.



### II.3. Objetivos a complementar por el estudio ingeniero geológico.

Para medir la efectividad del estudio, es vital establecer objetivos y comprobar su cumplimiento. Este elemento es muy importante, ya que en ocasiones las exigencias son parciales, lo que puede conllevar de antemano a la introducción de errores significativos. En este caso se proponen cuatro, que se consideran mínimos e imprescindibles.

Su alcance no se logra al unísono, el establecimiento de uno conduce a otro, ocurriendo el proceso por lo general, en el mismo orden que a continuación se describen.

### **II.3.1. Estado de los elementos ingeniero geológicos involucrados.**

Constituye un punto a despejar de elevada importancia, por ser la manifestación más directa de las alteraciones. Si las capas ingeniero geológicas no se alteran, es decir permanecen en un rango más o menos estable desde la construcción de la presa, no hay que temer la ocurrencia de ningún suceso que conlleve a la inestabilidad, ya que el medio no ha sido afectado los mecanismos que provocan las alteraciones se hallan muy limitados o son prácticamente inexistentes.

### **II.3.2. Establecimiento de las fronteras (límites) del fenómeno.**

Una vez estudiado el medio, es imprescindible establecer los límites de la alteración, que se manifiesta a través del cambio en el comportamiento del estado de los materiales. Aquí es muy importante conocer como son los materiales es decir sus propiedades originales, lo que permite comparar su estado esperado con el real. Resultados aceptados como semejantes, sin variaciones de consideración, es la clave para identificar las fronteras del problema. Para el establecimiento de los límites del fenómeno se recomienda llegar al detalle que sea necesario, aplicando los métodos que se consideren válidos, a una escala que permita la mayor precisión en los trazados de las fronteras en perfiles y mapas.

En estos momentos se está en condiciones de responder a las necesidades más agobiantes de la tarea a resolver, al vincularse a estos dos aspectos, el diseño de las medidas para la corrección de la patología manifiesta hasta ese momento, por lo que no se debe retener esta información, a la vez, que las diferentes partes deben comprender que los estudios deben continuar hasta el establecimiento de los dos objetivos restantes.

### **II.3.3. Mecanismos causantes.**

Una vez ejecutados todos los pasos de la investigación, con la aplicación de las técnicas a cabalidad, se debe estar en condiciones para responder a las interrogantes referidas al origen de la patología, proceso complejo, incluso multicausal, pero siempre debe responderse con certeza.

#### **II.3.4. Predecir el comportamiento futuro.**

No se debe dar por concluido el estudio sin plantear la interrogante sobre la evolución futura del o de los fenómenos que provocaron o pueden provocar el daño al medio. Esta contribución del estudio, junto al conocimiento de los mecanismos causantes, es clave para llegar a la demostración que las medidas aplicadas tienen un fundamento válido.

Como una herramienta importante que puede ser empleada de común acuerdo con la parte diseñadora con indiscutibles beneficios de común acuerdo con la parte diseñadora, lo constituye el proceso de modelación, que debe dotarse por la parte investigadora de datos que reflejen con la mayor precisión el marco geológico que sirve de sostén a su modelo.

Como consecuencia de no contar con los datos y elementos que aporta la parte geológica en su plenitud, se puede incurrir en errores de consideración en el momento de diseñar las medidas. Estos errores pueden agruparse en dos tipos:

- Por defecto: la medida no elimine la patología completamente o incluso el efecto sea contrario al deseado.
- Por exceso: la medida conlleve a gastos innecesarios, que de por si son por lo general elevados.

El desarrollo efectivo de la investigación será de inestimable valor para la solución de los problemas causados por la presencia de elementos desestabilizadores en la obra, reflejándose en la eliminación o mitigación de las patologías, lo que traerá indiscutibles beneficios para el país.

#### **II.4. Criterios acerca de la oportunidad de ejecución de los estudios.**

Hasta aquí se ha abordado el tema a partir de la aparición de la patología, por lo tanto, supone que debe ocurrir esta para realizar el estudio del medio, forma de proceder que constituye una práctica en el país. Las inversiones tienen lugar una vez ocurrido el problema, que de alguna manera debe solucionarse. De esta forma quedan mutiladas las posibles ventajas de una aplicación temprana, más preventiva, que entre otras se pudieran mencionar las siguientes:

#### **II.4.1. Ventajas de la ejecución temprana.**

Entre las múltiples ventajas que pueden introducirse, de realizar estos estudios tempranamente, se pueden mencionar los siguientes:

- La información suministrada sería igualmente válida para conocer el estado de la obra.
- La información mejoraría la planificación de los puntos de monitoreo, lo que contribuiría al aumento de su efectividad.
- De existir la necesidad, aportaría elementos claves para la ejecución de medidas correctoras, las que de aplicarse en un momento más temprano serían.

El hecho de que el procedimiento de estudio propuesto halla alcanzado resultados satisfactorios en la solución de estos problemas, puede contribuir a que los encargados de la toma de decisiones, presten mayor atención a las posibilidades de emplearlos en una etapa más preventiva, lo que adquiere mayor significado teniendo en cuenta el desarrollo limitado de la red de controles del país y la edad de muchas de las presas.

De existir un cambio en este sentido, lo planteado acerca de la forma de abordar los trabajos mantiene su total validez, solo el acápite **II.2.2 (Estudio de la patología o del efecto)**, sería improcedente.

#### **Conclusiones parciales del capítulo.**

1. El procedimiento para las investigaciones ingeniero geológicas en presas de tierra se compone de siete pasos, los que se deben ejecutar con un orden y metas preestablecidas.
2. El alcance mínimo de las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías presentes en presas de tierra se define con el logro de cuatro objetivos, a los que se arriba por aproximaciones sucesivas e interrelacionadas entre si.
3. Es conveniente ejecutar las investigaciones ingeniero geológicas antes de la aparición de fenómenos patológicos, de forma más preventiva, lo que traería consigo un mayor conocimiento del estado de las obras y de su posible evolución futura.
4. Resulta beneficioso para el desarrollo de la investigación la agrupación de los objetos de obra según el lugar de acción de la patología.

### **Capítulo III. Aplicación del procedimiento para la investigación ingeniero geológica de las patologías en presas de tierra**

En el capítulo se presentan varios casos resueltos, a través de los cuales se valida la hipótesis del trabajo investigativo.

Primero se refiere al caso de la presa Zaza, donde se aplicaron la generalidad de las técnicas investigativas, con el logro de todos los objetivos propuestos.

El caso de Lebrije y Alacranes muestran resultados parciales referidos a la agrupación de los objetos de obra atendiendo a la afectación patológica y al empleo de alguna técnica investigativa en particular.

En ningún caso aparecen ejemplos de aplicación de un grupo de técnicas en aras de ganar en amenidad, excluyendo las más reconocidas por la generalidad de los especialistas, como son: la revisión bibliográfica, levantamiento ingeniero geológico, estudio de la patología y la participación con otros especialistas en el diseño de las medidas y los controles a las obras.

#### **III.1. Caso de estudio Presa Zaza**

##### **Problema.**

La presa Zaza se ubica en la provincia de Sancti Spíritus, Cuba. Es considerada la mayor presa del país, con una cortina homogénea de 3.6 km de longitud, una altura máxima de 38.50 m y un volumen de embalse de  $1\,020 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

En la presa han ocurrido filtraciones prácticamente desde su construcción en 1973. En un inicio no eran significativas, pero con el tiempo fueron aumentando hasta que en la década del 80 se registraron valores que sobrepasaron los 80 l/s. De esta forma se decide inyectar con cemento un sector entre la toma de agua y el hombro izquierdo, en una longitud aproximada de 700 m. Estas inyecciones se paralizaron en varias ocasiones y nunca se concluyeron ni alcanzaron la efectividad esperada.

En 1999, después de un período de intensas lluvias provocadas por el huracán Lili se registraron filtraciones superiores a los 140 l/s, que amenazaban la estabilidad del embalse. Por esta razón se decidió tomar una medida constructiva, que en este caso se asoció a la

creación de una pared en suelo, a través de la inyección de una mezcla de Bentonita y cemento, siendo necesario entonces desarrollar una investigación ingeniero geológica detallada en el sector afectado.

El proyecto inicial basado en la información geológica que se manejaba hasta el momento arrojaba el valor de la inversión a un costo cercano a los  $12 \times 10^6$  de pesos, basado en que la extensión del problema ocupaba desde la Estación 4+00 hasta 11+00; con una profundidad de 22.0 m como promedio, y además (lo más importante), dada la ambigüedad de los datos con que se contaba para su realización, no alcanzaba la seguridad requerida para su ejecución en cuanto a resultados, es decir las partes proyectista, inversionista y constructora, acometerían una obra de esta envergadura, sin la garantía del conocimiento más indispensable de la base geológica sobre la cual se iba a trabajar.

### **Hipótesis.**

La investigación debe solucionar con la aplicación de los pasos establecidos por el trabajo investigativo, el problema asociado a las filtraciones, y resolver las ambigüedades presentes en cuanto al conocimiento de su base. Debe alcanzar como ejemplo de una correcta aplicación de las técnicas investigativas, los objetivos que se proponen para estos tipos de estudio asociado a su alcance, y con ello, solucionar el problema relacionado con las filtraciones.

Particularmente este caso exigía la respuesta de las siguientes interrogantes: A través de que capa ocurría realmente el fenómeno, porqué ocurría, qué dimensión alcanzaría la cortina a ejecutar, qué profundidad, qué longitud, cómo alcanzar la seguridad indispensable para afirmar qué se estaba trabajando sobre la zona verdaderamente afectada, y de esta forma despreciar la posibilidad que la medida, aunque bien ejecutada, no alcanzara el efecto deseado.

Estas interrogantes debían responderse con el respaldo técnico necesario en los argumentos y además hacerlo en un tiempo mínimo (solo dos meses) ya que la entrada de los equipos era inminente y antes se debía contar con el proyecto en detalle.

El primer aspecto a establecer lo constituyó el lugar de acción de la patología.

A través de las inspecciones visuales y el análisis de la patología se logra estimar que la patología afecta la base, en ningún momento se observa que el fenómeno se traslada a los materiales de la cortina. Este aspecto fue corroborado posteriormente con el curso de la



investigación, como se aprecia en la figura 5, que muestra el corte ingeniero geológico del área afectada.

A continuación, se hará referencia al logro de los objetivos como solución de la hipótesis, y al empleo de las técnicas investigativas.

### III.1.1 Estado de los elementos ingeniero geológicos involucrados y el establecimiento de las fronteras del fenómeno.

Es común que se alcancen al unísono y antes que los restantes.

- **Estudio de los registros de control.**

Se basó en los análisis de los vertedores, con énfasis en los construidos en puntos cercanos a la zona de las filtraciones.

Los registros ofrecieron claridad en cuanto a la cota de aparición e incremento de los gastos producidos por las fugas desde el embalse, elementos de interés para la definición de sus contornos.

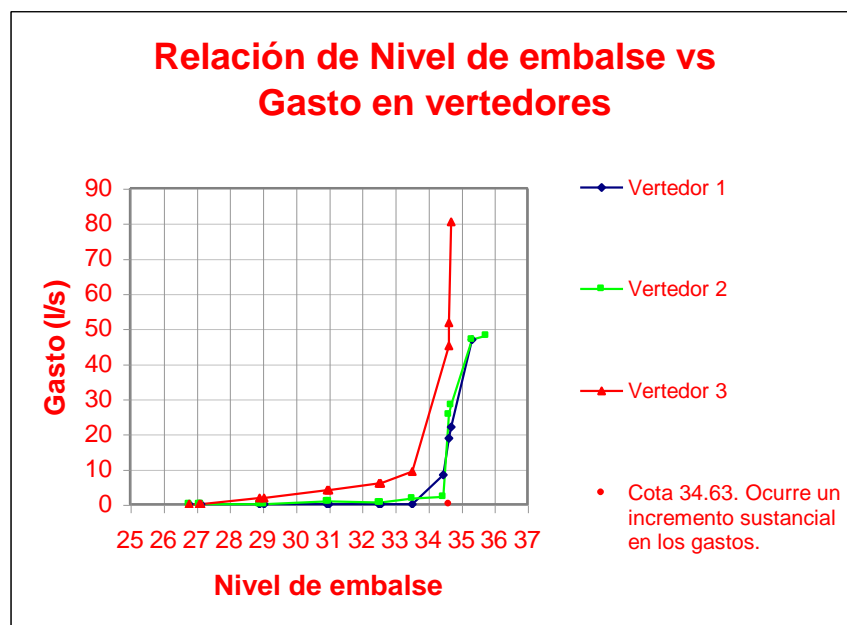


Figura 1. Registro de los vertedores en la zona afectada, presa Zaza.

De la información recopilada se pueden destacar tres aspectos.

Primero. Existe una correspondencia directa entre los gastos medidos en los vertedores y los niveles del embalse, los primeros se incrementan a medida que lo hace el nivel embalsado

Segundo. Los vertedores registran las primeras fugas sobre la cota 26.70 m.s.n.m.m.

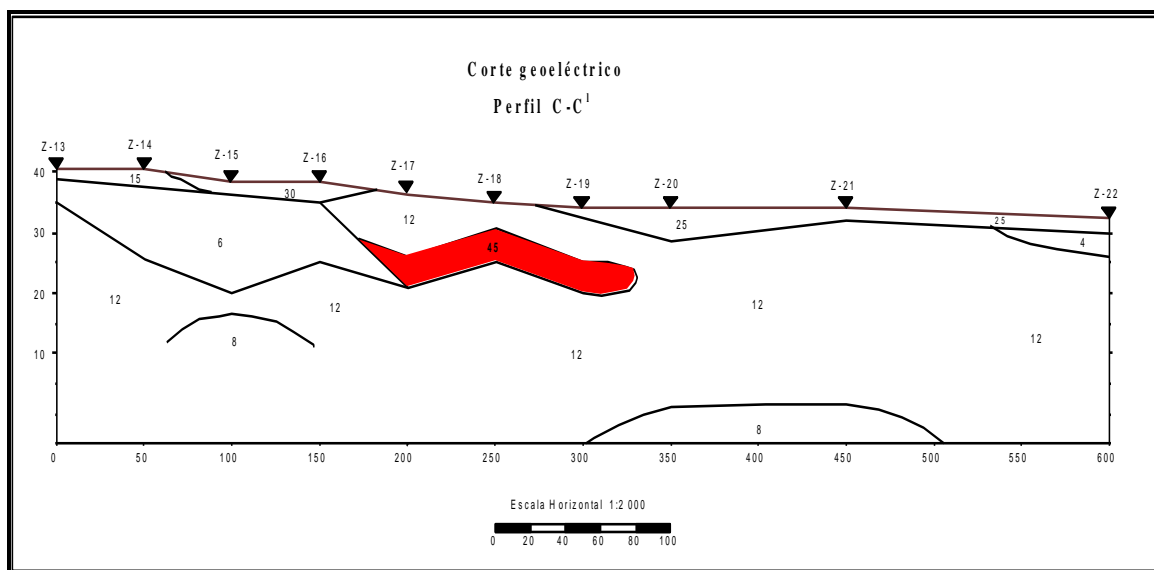
Tercero. Aproximadamente a partir de la cota 34. 60 m.s.n.m.m, ocurre un incremento sustancial de las filtraciones.

- **Resultados de los métodos geofísicos.**

Con su aplicación se logró establecer con rapidez que la base de la obra la conformaban materiales de baja resistividad eléctrica, lo que es común en los sedimentos finos, de tipo arcillo limoso. También se pudo definir la existencia de elementos de mayor resistividad, que se podían relacionar con litologías más gruesas dentro de la matriz más fina.

Uniando estos resultados a los de las primeras perforaciones, se dedujo que uno de los cuerpos más gruesos, cobraba una importancia relevante, dada su continuidad, cercanía a la superficie y presencia en la sección más afectada.

A continuación, se ofrece un resumen de estos resultados a través de la conformación de un perfil Geoelectrico típico, ejecutado en la zona, ayudado por los resultados del CEN.



**Figura 2. Corte obtenido por métodos geoelectricos en la zona afectada, presa Zaza.**

En el gráfico se pudo observar una zona delimitada por valores altos de la resistividad cerca de la superficie, coincidente con el sector donde los registros del CEN mostraron valores negativos generados por las filtraciones. El corte de isoohmas en general mostró valores del orden de los 12  $\Omega/m$ , que se asociaron a materiales arcillo margosos.<sup>55</sup> (Yera, *et al*, 1998). De esta forma queda demostrada la validez de estos métodos para delinear contornos y ayudar al conocimiento del estado de las capas afectadas.

- **Resultados de la perforación**

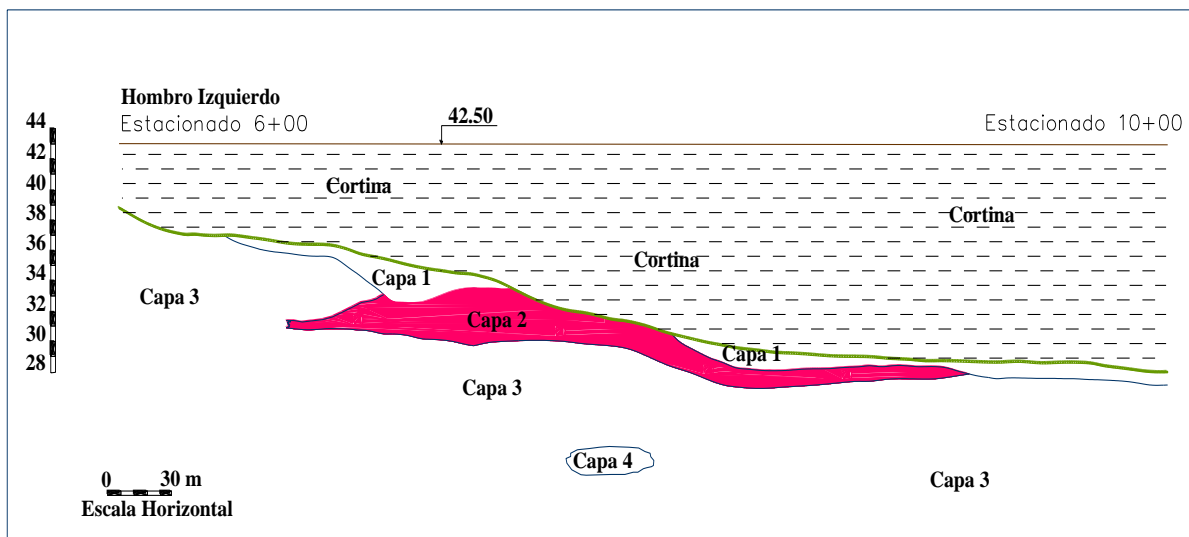
Se emplearon para detallar el corte geológico, tomando como base los resultados de las técnicas anteriores y con ello delimitar el fenómeno, a través de su asociación a una capa determinada, y paralelamente fundamentar la hipótesis acerca de su surgimiento.

En la figura 1 se observa como se logra establecer el contorno del elemento señalado en rojo, nombrada como capa 2, la que se asocia al problema de las filtraciones.

Macroscópicamente se describió por la recuperación de los testigos como un material muy húmedo, con su parte de suelo fina, limosa, suelta, de baja compacidad, en general alterada, de colores claros, con intercalaciones de un lodo de color carmelita, con presencia de gravas y fragmentos de caliza con huellas cársicas, abiertas sin relleno o con este terrígeno, poco consolidado.

---

<sup>55</sup> Yera, H., Rodríguez, E. (1998) “Estudio geofísico para la solución de las filtraciones en la presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara, págs 5 a 12.



**Figura 3. Corte ingeniero geológico, margen izquierda cortina presa Zaza**

Aquí aparece el elemento desestabilizador de la base, enumerado como capa 2. Presenta una alta permeabilidad y problemas de resistencia. Su presencia muy cercana a la cortina, incluso en contacto con ella, aumenta su peligrosidad. Se llegó a determinar que en ningún momento afectó los materiales de la cortina.

- **Resultados de las pruebas *in situ***

Las pruebas de filtración se basaron en inyecciones de agua a presión, por el método de Lugeón, con escalones de presión por intervalos descendentes.

Los cálculos de la permeabilidad (kf) se efectuaron por la ecuación de V.D. Babushkin, para régimen de equilibrio y el método de N.N.Verigin para régimen de no equilibrio.<sup>56</sup> (Álvarez et al., 1983).

<sup>56</sup> Álvarez, R.; Romero, J.; Domínguez, E. (1983). "Trabajos ingeniero geológicos e hidrogeológicos experimentales de campo", Editora Instituto cubano del libro, págs 218 a 231.

**Tabla 1. Resultados de las pruebas de agua a presión, zona afectada, presa Zaza**

<i>Cala</i>	<i>Intervalo (m)</i>	<i>Capa ensayada</i>	<i>Presión de la prueba (atm)</i>	<i>Caudal absorbido (l/min)</i>	<i>Absorción específica (l/min/m)</i>	<i>Kf (m/d)</i>
1	2.0-4.0	1	3.0	0.5	0.008	0.006
1	6.45-8.45	3	2.1	0.3	0.004	0.004
7	9.0-11.35	2	2.7	90.0	2.06	8.11
7	15.0-18.0	3	3.0	0.7	0.007	0.007
7	19.5-22.0	3	1.2	0.00	0.0001	0.002
7	22.5-26.0	3	3.0	0.20	0.002	0.002
8	9.10-12.1	2	2.7	90.0	1.12	5.4
8	18.0-21.7	3	3.0	0.2	0.002	0.002
8	23.0-25.0	4	3.0	4.3	0.145	0.13
9	14.0-17.0	3	2.0	0.6	0.010	0.01
9	17.3-20.3	3	3.0	0.1	0.001	0.001
10	17.6-20.6	3	3.0	2.0	0.022	0.020
10	21.1-24.1	3	4.0	0.7	0.006	0.006
10	24.8-27.3	3	4.0	0.1	0.001	0.001
26	16.2-19.0	4	3.0	3.0	0.037	0.037

Se puede apreciar que solo las inyecciones realizadas en la capa 2 se caracterizaron por valores altos de los gastos absorbidos y de la permeabilidad. Los registros de la permeabilidad de las capas de su entorno se ubicaron entre 0.1 y 0.0001 m/d, indicativo de un ambiente prácticamente impermeable a su alrededor.

- Resultados de laboratorio

Los ensayos realizados fueron de tipos físicos y mecánicos para la caracterización geotécnica de las capas, también se ejecutaron químicos de suelo y de agua.

- Resultados de los ensayos físico mecánicos de los suelos

En la siguiente página aparece una tabla resumen, con los valores medios de las propiedades, a continuación se agrega un comentario atendiendo al interés de la investigación.

**Tabla 2. Resumen geotécnico de las capas, cortina y base de la zona afectada, presa Zaza.**

<i>Parámetros</i>	<i>Resumen Geotécnico</i>					
<i>Capas</i>	<i>U/M</i>	<i>Cortina</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>3 b</i>
Grava	%	9	14	47	16	63
Arena	%	47	25	19	30	22
Limo	%	15	34	19	28	11
Arcilla	%	29	27	16	26	8
Límite Líquido	%	40.2	31.4	30.5	34.9	30.5
Límite Plástico	%	19.2	17.8	16.4	17.4	16.1
Índice Plástico	%	21.0	13.7	14.1	17.5	14.4
Humedad Natural	%	22.6	19.0	28.0	18.9	14.0
Densidad Húmeda	g/cm <sup>3</sup>	2.00	1.830	1.856	2.080	1.862
Densidad Seca	g/cm <sup>3</sup>	1.63	1.537	1.450	1.750	1.623
Relac. de Vacíos	-	0.667	0.769	0.820	0.576	0.638
Saturación	%	90	67	90	90	58
Peso Específico	-	2.72	2.72	2.64	2.75	2.66
Cohesión Lento	Kg/cm <sup>2</sup>	0.29	0.24	0.12	0.27	
Ángulo Fricción L.	°Sex.	17	14	7	19	
Clasificación	-	CL	CL	GC	CL	GC

Como se puede deducir de las características granulométricas y de plasticidad, solo las capas 2 y 3b podrían asociarse a valores altos de la permeabilidad, existiendo total correspondencia con los resultados de la perforación y las pruebas in situ.

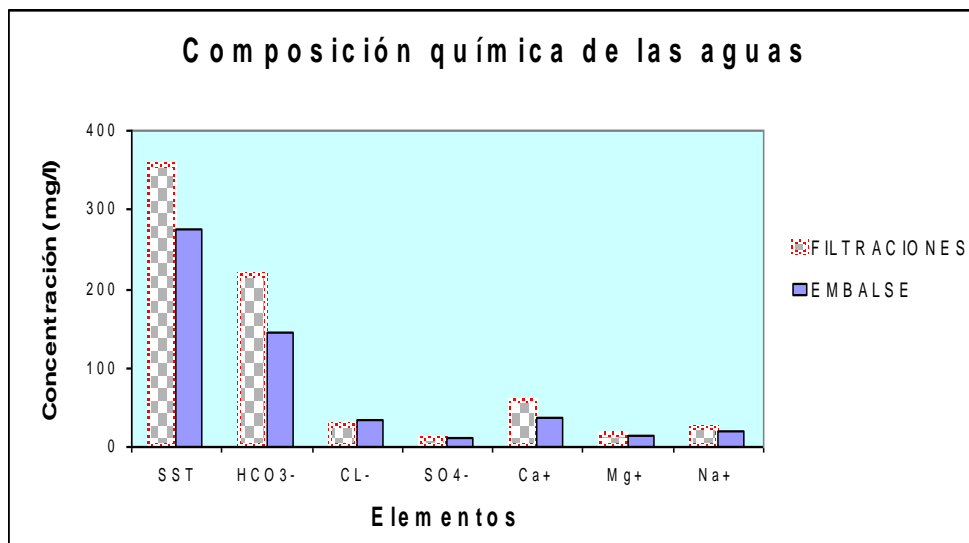
Se puede observar también el deterioro de la capa 2, reflejado en los valores bajos de los registros del cortante lento directo, aunque este se le realizó a su parte fina, sin aplicar

coeficientes por la grava. Su estado en general alterado se refleja también en su alta saturación y humedad, muy cerca de su límite líquido, reflejo de un estado casi fluido.

- Resultados de los análisis químicos del agua.

Se realizó tomando muestras de dos fuentes; el embalse y de las filtraciones en la salida del agua al exterior.

A continuación se muestra una gráfica donde se recogen estos resultados.



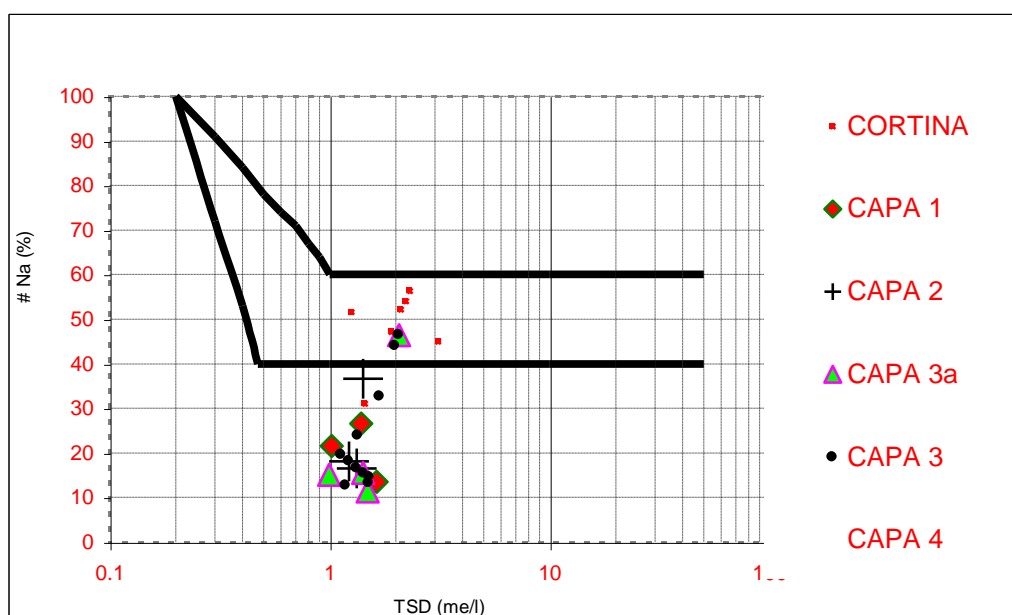
**Figura 4. Resultados de los ensayos químicos de agua en la zona afectada, presa Zaza**

Como se aprecia en el gráfico, las aguas en general tienen una composición parecida, manteniendo una distribución semejante de los iones fundamentales, clasificando en ambos casos como bicarbonatadas cloruradas sulfatadas cársicas magnésicas sódicas, siendo además dulces de acuerdo a su mineralización. Sin embargo, se aprecian diferencias cuantitativas que reflejan un intercambio químico con el medio a pesar de la corta trayectoria que recorren por debajo de la cortina en este sector, alrededor de 80 m. Se incrementan el bicarbonato y el calcio, mientras disminuyen el sulfato y el cloro, manteniendo los iones magnesio y sodio en cantidades similares. Como resultado de este proceso la dureza se incrementa, pasando de 3.04 meq/l a 4.16 meq/l, lo que a todas luces se ve como un proceso de disolución de los suelos y rocas.

- Resultados de los análisis químicos de los suelos.

La magnitud alcanzada por las filtraciones junto a la descripción macroscópica de los materiales presentes indicaba que asociado al paso de las aguas por debajo de la cortina, ocurría el fenómeno de sifonamiento, al producirse el lavado de los suelos presentes, por lo que el análisis químico de los mismos junto al de las aguas debía expresar una correspondencia con la existencia de este fenómeno.

Una posibilidad a descartar era la presencia de suelos dispersivos, aspecto que se esclareció, como aparece en el gráfico de contenido de Sodio vs Sales solubles disueltas.





**Tabla 3. Composición química de la capa 2, presente en la base de la presa Zaza.**

CALA	SALES SOLUBLES TOTALES me/l - mg/l									
	HCO3	CL	SO4	Ca	Mg	K	Na	TOTAL	PH	CO
7	0.45	0.5	0.38	0.8	0.3	0.01	0.22	0.0912	8.0	0.10
	0.027	0.0	0.0182	0.016	0.0036	0.0004	0.0051			0.003
10	0.7	0.1	0.02	0.8	0.2		0.22	0.0877	8.0	0.10
	0.043	0.0	0.001	0.016	0.0024		0.0051			0.003
22	0.6	0.7	0.12	0.8	0.1		0.52	0.0991	7.9	0.10
	0.037	0	0.0058	0.016	0.0012		0.012			0.003

Como se puede apreciar en la tabla, en los suelos de la Capa 2 predomina la presencia de carbonato hidratado, el cual constituye entre el 30 y 50 % del total de sales solubles contenidas en el mismo. Esto demuestra, teniendo en cuenta lo anteriormente explicado, que dicho suelo es potencialmente soluble.

El análisis integral de la información aportada por los diferentes métodos permitió el logro de los dos objetivos propuestos, al poder asociar a la capa 2 el fenómeno de las fugas de agua desde el embalse, conociendo su estado físico, mecánico y químico, delimitando igualmente su zona de influencia, al conocer el estado de las capas que la rodean.

El dejar claro el contorno del fenómeno permitió reducir la medida de 700.0 m a 330.0 m, y en profundidad de 22.0 m a 14.0 m como promedio, lo que redujo el valor de la inversión inicial a poco más de la mitad; \$  $5.7 \times 10^6$ , dando validez a lo planteado respecto a los posibles errores de diseño. En este caso la introducción del error sería por exceso, conduciendo a un costo constructivo mucho más elevado.

Vencida esta etapa se pudo pasar al establecimiento de los objetivos restantes.

### **III.1.2. Conocimientos de los mecanismos causantes.**

Al analizar entonces armónicamente los elementos fundamentales: nivel de embalse-volumen de filtración, manifestación de la patología, resultados geofísicos, descripción detallada de las capas, ensayos de laboratorio, análisis del perfil ingeniero geológico y resultados de las pruebas in situ; podemos afirmar que las fugas se originan al aflorar o ubicarse muy cerca de la superficie del terreno, una capa gruesa con cierta continuidad y

potencia que permitió el paso del agua, que a su vez intercambió químicamente con el medio, incorporando a su composición el bicarbonato y el calcio que fue diluyendo del suelo.

Este proceso fue abriendo conductos que permitieron el aumento de la velocidad y con ello el arrastre de partículas o sifonamiento mecánico de los finos de baja cohesión presentes en la matriz, lo que dejó el camino más libre de una forma sostenida y creciente al flujo establecido, que, a su paso, ha reemplazado parte de las partículas por el lodo presente en su interior.

Es así como se llega a concluir que solo la capa 2 mantiene las condiciones en conjunto que provocaron la ocurrencia de este fenómeno, al no repetirse estas en ninguna otra, como se verá a continuación:

La capa 1 se encuentra cerca de la superficie y de forma continua, pero clasifica como una arcilla arenosa con pocas gravas, con alto contenido de limos, elemento que no le permite desarrollar permeabilidades elevadas, algo que además se aprecia en su estado de conservación, a pesar de estar siempre cerca de la capa problemática.

La capa 3 posee elevada potencia y continuidad, pero sus características físicas son similares a la 1 y su permeabilidad baja en general.

La capa 3b posee características granulométricas y de plasticidad similares a la 2, pero su permeabilidad es baja, debido a: Su estado de conservación, tanto de los fragmentos y gravas como de la matriz que los envuelve, posición más profunda en el corte (factor que le permite estar más conservada) y presencia aislada, sin continuidad, al aparecer a manera de intercalación dentro de la capa 3.

De esta manera se puede afirmar que las filtraciones se originaron al estar presentes inicialmente sedimentos semejantes a la capa 3b a continuación de la cortina (aflorando en el terreno natural), o muy cerca de la superficie, con cierta continuidad y potencia.<sup>57</sup>(Díaz *et al.*, 1999).

---

<sup>57</sup> Díaz, T., San Román, N., Ruíz, O. (1999). “Investigación para la solución de las filtraciones, cortina presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara, pág 32.

### **III.1.3 Predecir el comportamiento futuro.**

Una vez establecidos los anteriores aspectos se llega a predecir que la medida puede ser eficaz si se logra cortar completamente el flujo de la capa 2, eliminando en la zona afectada, la patología de forma total.

Ahora bien, en otros puntos de la cortina, donde aún no se han manifestado filtraciones, puede que estas condiciones se repitan al estar presentes estos tipos de sedimentos, aunque dado el tiempo transcurrido desde la construcción de la obra sin el establecimiento de un flujo como este en puntos tan cercanos a la superficie, permiten afirmar que es poco probable la presencia de estas capas gruesas al menos sin estar cubiertas por materiales finos. Al presentarse a mayor profundidad provocan pérdidas desde el embalse, pero que serán menos importantes para la estabilidad mientras más alejadas de la superficie se localicen. Afirmando además que toda vez que ocurran fenómenos semejantes deben asociarse a un mismo origen, por lo que su interpretación, estudio y solución de proyecto, deben tener en cuenta los resultados de este trabajo.<sup>58</sup>(Díaz *et al.*, 1999)

Es necesario agregar que una vez ejecutada la medida ingenieril sobre la capa señalada, los resultados no se hicieron esperar, reduciéndose significativamente las filtraciones en la presa, a tal extremo que en el Vertedor 1 (recoge las fugas más peligrosas) no se han registrado gastos, y en el 2 y el 3 no sobrepasan los 18 l/s, muy inferiores a los 140 l/s que marcaban a finales de 1999.

De esta forma queda demostrado que estos cuatro objetivos son alcanzables, y que su establecimiento puede conducir a la solución efectiva de los problemas provocados por la presencia de patologías de origen geológico.

### **III.2. Caso de estudio presa Lebrije.**

Se hará referencia al lugar de acción de la patología y al estudio de los registros de control. El fenómeno patológico tiene su inicio en la base y posteriormente afecta el cuerpo de la cortina.

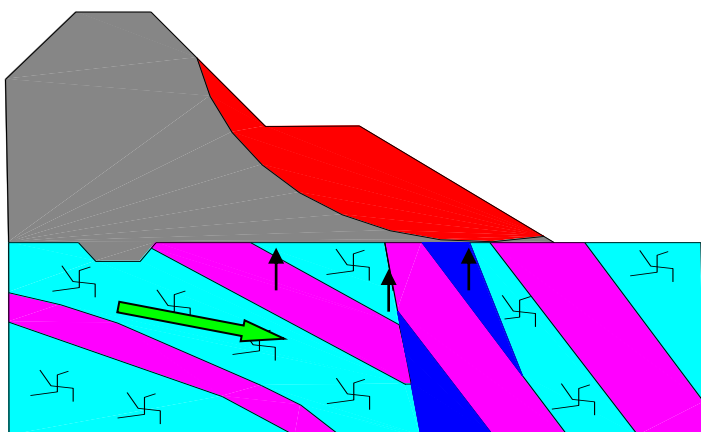
En la presa Lebrije en el año 2002 tras la caída de intensas lluvias en un corto período de tiempo, tiene lugar un incremento sustancial de los volúmenes embalsados, momento en

---

<sup>58</sup> Díaz, T., San Román, N., Ruíz, O. (1999). “Investigación para la solución de las filtraciones, cortina presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara, pág 33.

que ocurre un deslizamiento del talud aguas abajo, específicamente en la margen derecha de la cortina.

La base en esta zona está influenciada por un tectonismo que produjo un marcado buzamiento en los estratos y la presencia en la roca caliza de un agrietamiento marcado. A través de ella ocurre el paso del agua desde el embalse con cierta facilidad. Estas calizas se intercalan con rocas arcillosas, que por su menor permeabilidad funcionan como pantalla impermeable natural, provocando un crecimiento del nivel piezométrico más allá de lo previsto, lo que provocó una distorsión en el esquema hidráulico de la presa, con el consiguiente deterioro del comportamiento físico mecánico de los materiales que conforman la cortina.



**Figura 6. Corte esquemático de la sección afectada, cortina de la presa Lebrije**

Se muestra la dirección del flujo de agua y la subpresión, las que son señaladas con las flechas en amarillo y negro, respectivamente.

El material más permeable señalado en azul más claro, con figuras que representan grietas, la parte más impermeable en lila y azul oscuro. La cortina en carmelita y la parte deslizada en rojo.

El mecanismo comienza afectando la base y se traslada hasta los materiales de la cortina, dando lugar a su deslizamiento.<sup>59</sup>(Ruíz, *et al.*, 2005).

---

<sup>59</sup> Ruíz, O.; San Román N.; Díaz, T. (2005) “Apoyo de la investigación a la solución de fallos de la cortina de la presa Lebrije” Revista voluntad hidráulica, Ciudad de la Habana, # 97, pág 41.

### III.2.1 Estudio de los registros de control de las obras.

Se estudió la serie de registros de vertedores cercanos al deslizamiento de la cortina ocurrido en la obra, en su margen derecha. En el caso se hace referencia a la serie del año de ocurrencia del fallo, 2002.

Después de un análisis exhaustivo, de los datos se confeccionó el siguiente gráfico, donde se expone claramente la relación, nivel de embalse-caudal de las filtraciones.

Se puede observar la cota a partir de la cual comienzan las mismas, sus incrementos sucesivos hasta niveles permisibles o no, y cómo influye sobre las mismas el deslizamiento ocurrido en el mes de Mayo.

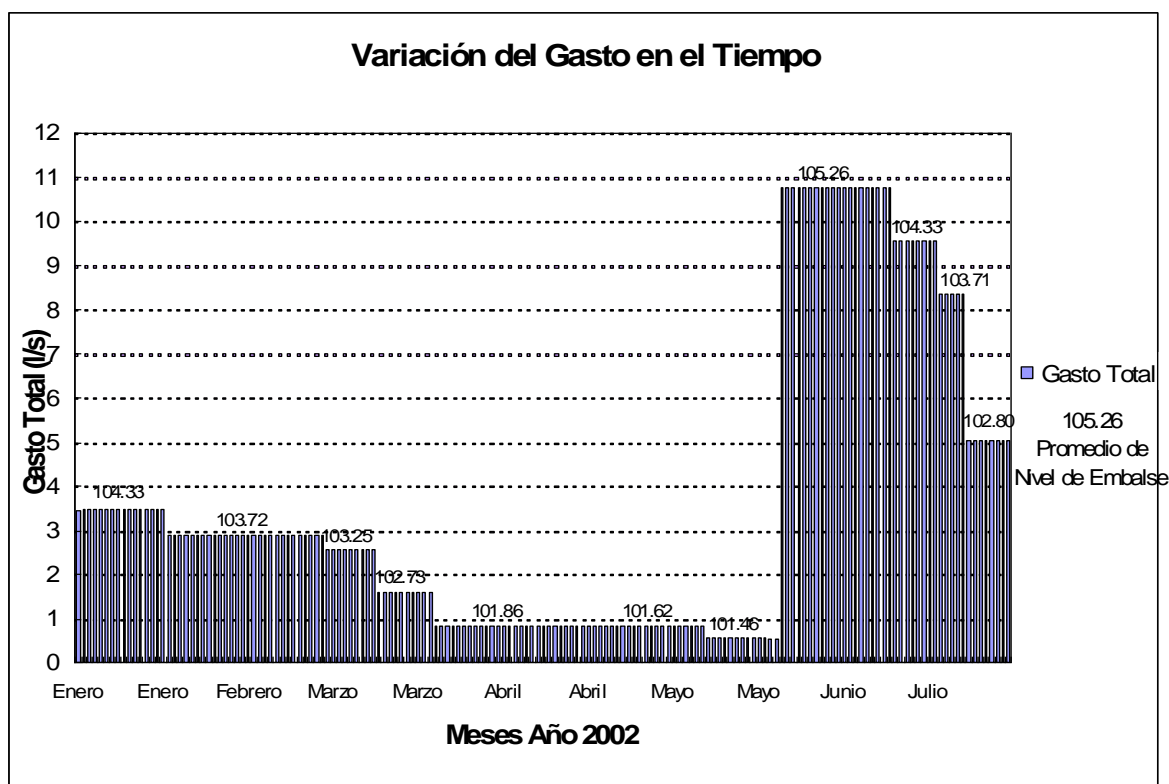


Figura 7. Gráfico del caudal registrado en los vertedores vs nivel de embalse antes y después del fallo, presa Lebrije. <sup>60</sup>( Ruiz *et al.*, 2003).

<sup>60</sup> Ruíz, O.; San Román, N. (2003) "Informe ingeniero geológico para la reparación de la cortina en la presa Lebrije", EIPH VC, Santa Clara, págs 8 a 36.

Es natural que después del fallo por deslizamiento de una parte de la cortina, las filtraciones aumentaran, pero su nivel tan alto y con tendencia al incremento muestra claramente el deterioro de las condiciones de estabilidad de la obra en general e incrementando el riesgo de colapso, poniendo en peligro los asentamientos poblacionales y objetivos económicos aguas abajo de la presa.

Como puede verse el estudio de estos datos arroja claridad en cuanto al momento de ocurrencia de la manifestación, e igualmente para el conocimiento de su desarrollo en el tiempo, lo que permite diagnosticar la evolución futura del estado de la obra, así como la eficacia de las medidas de mejoramiento. Además, ya en el orden geológico, permite ir ganando en claridad en cuanto a la relación del cuadro geológico con las filtraciones.

### **III.3. Caso de estudio presa Alacranes**

En la presa han ocurrido filtraciones a través de varias secciones de la cortina prácticamente desde su construcción. En los estudios efectuados en dos momentos: 1987 para la instalación de Piezómetros; 2008 para la investigación de las filtraciones; se detectaron problemas en cuanto a la posición del núcleo impermeable y la compactación inicial de los materiales.<sup>61</sup>(Ramos, *et al.*, 1987).

Se hará referencia a la investigación efectuada para las investigaciones en el 2008, específicamente a los métodos investigativos geofísicos, de perforación y laboratorio y al lugar de acción de la patología.

#### **III.3.1. Métodos geofísicos**

Se aplicaron métodos superficiales, geoeléctricos, específicamente dos: Tomografía y Campo Eléctrico Natural (CEN).

- Tomografía eléctrica.

Tiene como finalidad estudiar las variaciones laterales de resistividad del subsuelo. Se trata pues de un método de investigación muy apropiado (por su alta resolución lateral) para detectar cambios geológicos verticales o inclinados, tales como diaclasas o fracturas. Este

---

<sup>61</sup> Ramos L.; San Román, N. (1987) "Informe sobre las investigaciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas en la instalación de piezómetros conjunto hidráulico "Alacranes", Provincia Villa Clara", Instituto de Hidroeconomía, Santa Clara, Págs 3 a 15.

método posee un potencial elevado de resolución por la innovación de los instrumentos y los programas interpretativos de computación. El método constituye una técnica de investigación 2D, de zonas con anomalías, donde el empleo de otras técnicas no permite obtener información en detalle a profundidades someras.

La medición de la resistividad aparente se realiza con un dispositivo tetraelectrónico determinado por una separación constante entre electrodos (en la investigación, para los perfiles transversales fue de 1.0 m, y para los longitudinales de 5.0 m), denominada “a”, e ir variando la distancia entre pares de electrodos emisión-receptor por múltiplos de un valor “n” de profundidad. Datos que posteriormente son tratados por algoritmos de inversión.

La inversión muestra como resultado final una imagen de resistividades y profundidades reales, que posteriormente son correlacionadas con la información geológica y las perforaciones.

Como resultado de su aplicación se obtuvieron una serie de perfiles longitudinales y transversales a la presa, en las secciones propuestas.

A continuación se detallan, el perfil longitudinal de la corona de la cortina (parte más elevada de la misma), y dos perfiles transversales típicos.

Visualmente se ofrecen en el Anexo gráfico 3 y en el anexo gráfico 4.

En el perfil longitudinal se observa gran variabilidad de los valores de resistividad aparente dentro de denominada capa A, tanto en forma longitudinal como en profundidad.

En la parte superior del corte se aprecian valores de resistividad aparente que oscilan entre (30 y 300)  $\Omega/m$ . Esta oscilación está dada por la heterogeneidad de los materiales ubicados en la parte superior de la cortina, que están representados por arenas arcillosas, con gravas semiredondeadas y angulosas, material utilizado como espaldón. Este elemento (capa A), a su vez desde el punto de vista físico puede ser subdividido en dos: una primera zona ( $A_1$ ), con mayores heterogeneidades en los materiales que se encuentran cercanos a la superficie, con partículas más débilmente unidas debido a las irregularidades del grado de compactación, y con mayor exposición a la acción de agentes externos, con cambios más bruscos de la humedad y temperatura. Aquí los valores de resistividad aparente varían entre (30 y 300)  $\Omega/m$ , y presenta un espesor promedio de 3.0 m.

La segunda, capa A<sub>2</sub>, es más homogénea, característica que se acentúa con la profundidad. En la misma los valores de resistividad aparente fluctúan en un rango mucho menor, entre (30 y 80)  $\Omega/m$ . Presenta un espesor promedio de 4.0 m.

El espesor conjunto de ambos materiales es de aproximadamente 7.0 m.

Subyaciendo a ambas se encuentra una capa muy homogénea donde se observan valores de resistividad aparente menores que 20  $\Omega/m$ . La variación de las resistividades aparentes dentro de esta capa está relacionada de forma inversa con su grado de plasticidad y de humedad, es decir en la medida que la resistividad aumenta, la plasticidad y la humedad disminuyen.

Esta secuencia coincide con la denominada capa B, la cual está constituida por arcillas muy plásticas, con presencia de arena de granulometría fina, y es la que se empleó en la construcción del núcleo de la presa.

Es importante destacar que el techo de esta capa forma un contacto irregular con los materiales que la sobreyacen, capa A<sub>2</sub>. En cuanto al piso de la misma, estas irregularidades se hacen más significativas dada la variedad de las rocas que la contactan en la base.

La potencia es variable y en algunas zonas resulta difícil determinarla desde el punto de vista geofísico, ya que existen materiales en la base que presentan propiedades geoelectricas similares a ella, como son las arcillas algo arenosas y las arcillas de alta plasticidad algo arenosas de las capas 1 y 3a respectivamente. Independientemente a ello se considera que la misma presenta un espesor variable, entre 9.0 m y 14.0 m.

En los perfiles transversales aparece un corte muy similar al anterior en cuanto a los tipos de materiales y su colocación, además se pueden apreciar zonas anómalas que se asocian a sobre saturación causadas por posibles filtraciones, así como de mayor presencia de vacíos, señalados como puntos de posible agrietamiento.

Se puede distinguir que el método logra captar las diferentes capas, en los perfiles los contactos entre ellas se muestran a través del trazo de una línea en negro, mostrando una idea interesante de la posición de las capas respecto a la establecida por el diseño.

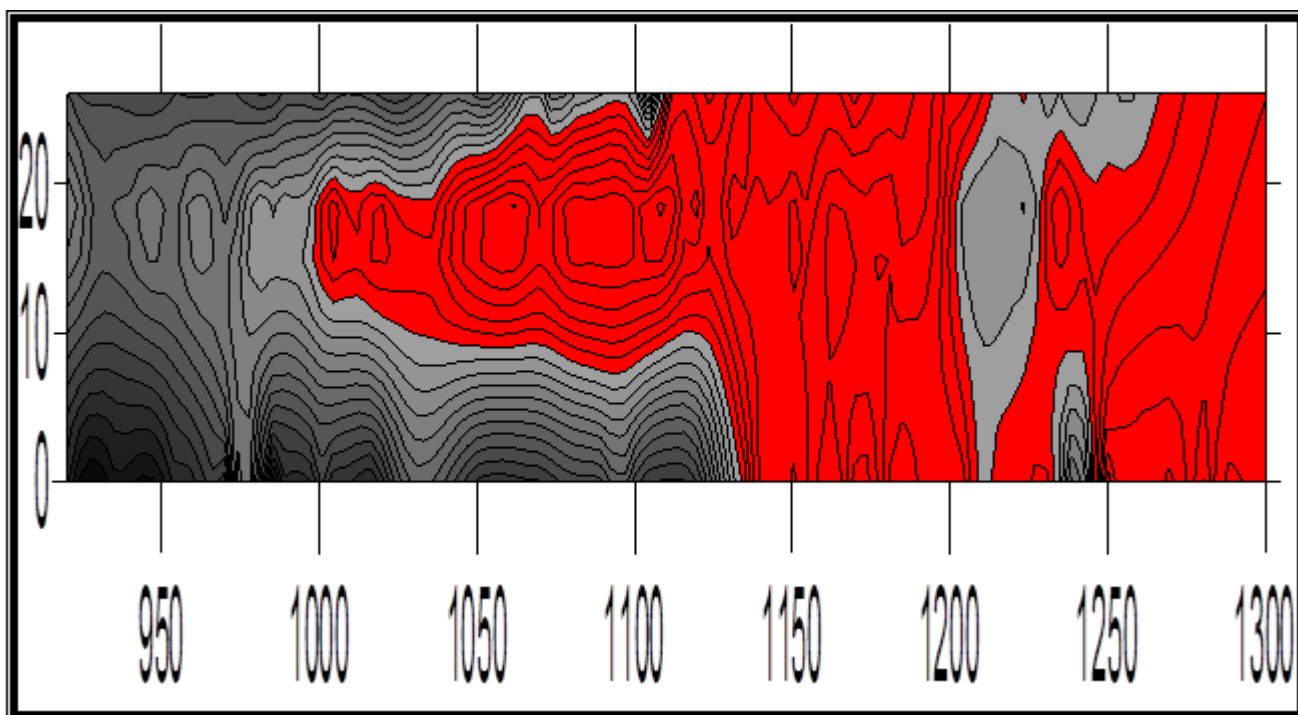
- Campo eléctrico natural (CEN)

El método se basa en las observaciones de los campos eléctricos provocados por la fuerza electromotriz de origen físico-químico, de filtración y de difusión.



Para el caso particular de nuestra investigación los eléctricos naturales de mayor interés lo constituyen los de filtración, al moverse el agua a través de los poros de los suelos.

El comportamiento de campo eléctrico natural se relaciona fundamentalmente con las zonas de filtraciones. Los registros más anómalos comienzan a partir del estacionado 1020 hasta el 1200, aproximadamente.



**Figura 8. Comportamiento del Campo Eléctrico Natural en la zona de las filtraciones, presa Alacranes**



Zonas Anómalas (Zonas de mayores filtraciones)

Los métodos aportaron claridad sobre el estado de la cortina y la forma en que tienen lugar las filtraciones, lo que fue tomado en cuenta para la programación de la perforación y el muestreo. <sup>62</sup> (Rodríguez *et al*, 2008).

---

<sup>62</sup> Rodríguez, E.; Jiménez, R. (2008) “Investigación geofísica cortina Presa Alacranes”, EIPH VC, Santa Clara, pág 8.

### III.3.2 Perforación

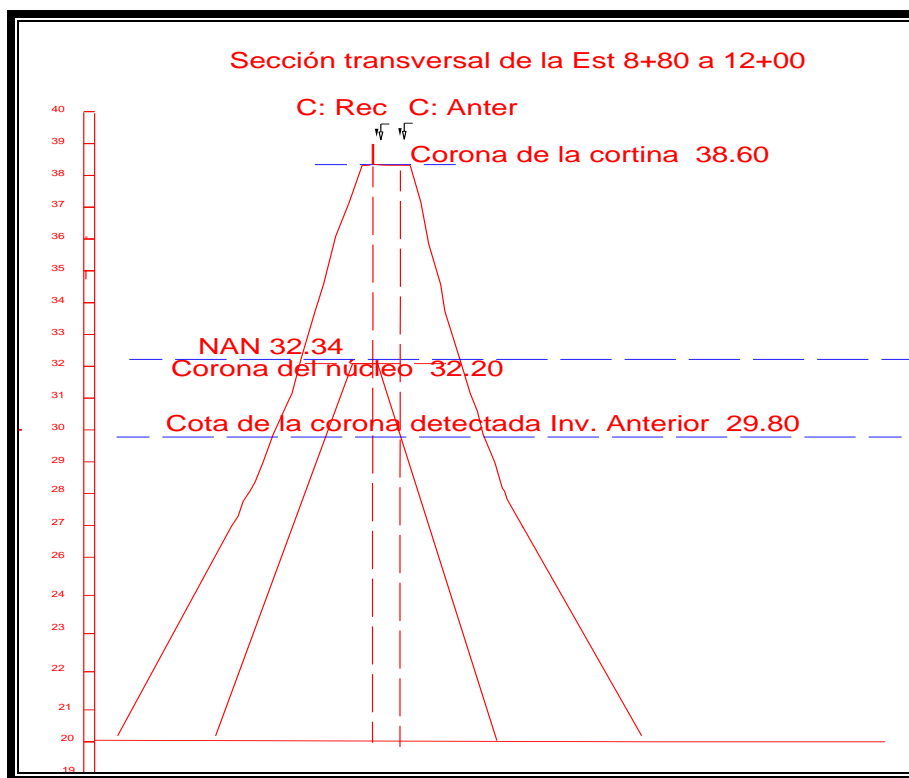
Los trabajos de perforación con el correspondiente muestreo sirvieron para precisar el perfil de la cortina y el estado de sus materiales. El método de perforación empleado fue el de a columna con recuperación de testigos, usando agua como líquido de lavado. La recuperación superó el 95 %, permitiendo la descripción y toma de muestra de los testigos, en este caso alteradas

Para el muestreo inalterado se empleó el muestreador Otterberg .

Con la aplicación de estos métodos se logran establecer detalladamente las causas de los problemas ya detectados por otras técnicas.

Ver Anexo gráfico 5: Perfil ingeniero geológico por la corona entre las Estaciones 8+80 y 12+00. Presa Alacranes.

Ver Figura 2: Perfil transversal típico de la posición de los materiales en la cortina entre las Estaciones 8+80 y 12+00. Presa Alacranes.



**Figura 9. Perfil transversal de la cortina entre las estaciones 8+80 y 12+00, presa Alacranes. Aparece la posición del núcleo detectada por dos investigaciones, las que se complementan y ratifican los resultados**

El diseño de la cortina está concebido con la colocación del núcleo impermeable hasta el nivel de aguas máximas (NAM), cota 36.00 m.s,n,m,m.; sin embargo se ubica en 32.34 m.s,n,m,m. entre las Estaciones 8+80 y 12+00, a partir de su techo aparece un material granular, permeable, que permite el paso del agua con facilidad, de ahí la ocurrencia de filtraciones una vez que los niveles embalsados sobrepasan esta altura.

Teniendo en cuenta lo planteado hasta el momento indica que la patología se relaciona con el cuerpo de la cortina, no interesando a los materiales de su base <sup>63</sup>(San Román *et al.*, 2008).

### III.3.3 Ensayos de Laboratorio

La perforación permitió el muestreo y la realización de ensayos de laboratorio, que sirvieron para verificar el estado actual de la cortina y su comparación con los datos tomados para el diseño.

En este caso se hará referencia en la tabla que aparece a continuación, a los resultados del peso volumétrico natural seco ( $\delta_d$ ), por los métodos geofísicos y de ensayos naturales, y al peso volumétrico seco máximo ( $\delta_d \text{ máx}$ ), provenientes de los ensayos de compactación, de tipo Próctor estándar, aplicados todos en la capa gruesa empleada como espaldón.

**Tabla 4. Relación de los valores del peso específico volumétrico del material empleado como espaldón, presa Alacranes.**

Geofísica ( $\delta_d$ )	Ensayos naturales ( $\delta_d$ )	Próctor ( $\delta_d \text{ máx}$ )
1.48- 1.67 (g/cm <sup>3</sup> )	1.37-1.65 (g/cm <sup>3</sup> )	1.62-1.77 (g/cm <sup>3</sup> )

Se observa como los materiales alcanzan valores de sus pesos volumétricos por debajo de los arrojados por los ensayos del Próctor.

Los ensayos de laboratorio junto a los resultados de la geofísica mostraron valores menores de lo esperado, indicativo de una deficiente compactación, con resultados por debajo de los

---

<sup>63</sup> San Román, N.; Díaz, T. (2008) “Geología cortina presa Alacranes”, EIPH VC, Santa Clara, págs 5 a 20.

parámetros óptimos de control, dando lugar a que las aguas que se filtran se muevan a través de espacios preferenciales, más vacíos, lo que se corresponde con los resultados de la geofísica en los puntos dados como anómalos, más sueltos, como posibles zonas de agrietamiento y de movimiento de agua.

Como puede apreciarse en todos los casos referidos cada paso que se aplique debe aportar conocimiento a la investigación, logrando a través de aproximaciones sucesivas el dominio del ambiente geológico requerido.

A modo de ilustración de los disímiles medios geológicos a los que se vinculó el trabajo investigativo y de la envergadura de las obras de referencia se ofrecen en los anexos gráficos 7, 8 y 9; la base geológica a escala regional y algunos datos de las obras.

### **Conclusiones parciales del capítulo.**

1. En el capítulo se expone claramente la aplicación del procedimiento propuesto, a través de la solución de varios casos resueltos.
2. Las características de las obras tomadas como referencias (de grandes proporciones y de base geológica disímil); y los resultados alcanzados en las mismas, ejemplifican de forma convincente la validez del trabajo investigativo.
3. Queda demostrado que cada una de las técnicas investigativas tiene un impacto positivo sobre el conocimiento del fenómeno bajo estudio, siempre que tengan claramente definido sus objetivos particulares.
4. El caso de la presa Zaza demostró la importancia de llegar al cumplimiento de la totalidad del alcance, definido por el trabajo investigativo a través de cuatro objetivos básicos.

## **CONCLUSIONES**

1. Con la aplicación del procedimiento para las investigaciones ingeniero geológicas de las patologías en presas, se logra un mejor ordenamiento y eficiencia de los resultados, quedando demostrada la hipótesis planteada por el trabajo investigativo.
2. Los pasos a seguir para la solución de los problemas originados por las patologías se definen sean siete, los que deben aplicarse siguiendo un hilo conductor, escalonadamente y en interacción continua, teniendo como premisa el aporte al conocimiento del fenómeno bajo estudio.
3. El logro de todos los objetivos debe ser considerado como un alcance indispensable para la investigación, a su establecimiento se arriba de forma escalonada y en estrecha relación con la aplicación de las diferentes técnicas investigativas.
4. La aplicación de esta forma de proceder tendrá en cada caso una relación muy estrecha con el tipo de fenómeno presente y con la información y experiencia que se disponga.
5. Las patologías de origen ingeniero geológico pueden dar lugar situaciones riesgosas para la seguridad de las presas construidas, de graves consecuencias para el medio en general.

## **RECOMENDACIONES**

1. Por su valor metodológico y los resultados alcanzados, el trabajo investigativo debe generalizarse entre las entidades encargadas de este tipo de labor en el país, sirviendo como antecedente a trabajos a ejecutar con similar fin en otros tipos de obras hidráulicas.
2. El procedimiento definido debe constituir una herramienta de trabajo, que no intenta sustituir la experiencia de los grupos de especialistas a cargo, sino, por el contrario, le sirve de complemento.
3. La aplicación del Procedimiento no debe ser dogmática, debe adecuarse a las condiciones particulares bajo investigación, de esta misma manera deben aplicarse las diferentes técnicas investigativas.
4. La agrupación de los objetos bajo estudio atendiendo a la ubicación de la patología, puede resultar ventajosa, por lo que se recomienda su empleo desde momentos tempranos de la investigación.
5. Para la ejecución de este tipo de investigación ingeniero geológica se recomienda que el investigador tenga a su alcance los recursos tecnológicos adecuados.
6. Realizar un análisis y completamiento de los medios para el control técnico en las presas del país, más a tono con la práctica internacional y tomando en consideración las características de cada obra en particular.
7. Teniendo en cuenta los resultados que pueden alcanzar estos estudios y el gasto de recursos que pueden evitar, se recomienda sea más empleado por el país de forma preventiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J.; Ruíz, O.; San Román, N.; Díaz, T. (2008) “Informe ingeniero geológico, reparación Aliviadero, presa Dignorah”, EIPH VC, Santa Clara.
- Armas, R., Horta, E. (1987) “Presas de tierra”, Editora ISPJAE, Ciudad de la Habana.
- Armas, R. (2002) “Criterios para diseñar presas de tierra: Prioridad y secuencia”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba.
- Armas, R.; Echemendía, A.; García, C. (2002) “Causa de falla por sifonamiento de la presa Las Cabrerías: Caso histórico”, Conferencia. Taller nacional sobre fallos de presas de tierra, Ciudad de la Habana, Cuba.
- Aspiólea, J. L. (2003) “Palabras centrales del Presidente del INRH, Jorge Luís Aspiólea Roig, en el acto resumen por el Aniversario 40 del ciclón Flora”, Revista Voluntad hidráulica, # 95, Ciudad de la Habana.
- Álvarez, R.; Romero, J.; Domínguez, E. (1983) “Trabajos ingeniero geológicos e hidrogeológicos experimentales de campo”, Editora, Instituto cubano del libro, La Habana.
- Alvarez, A., (1999) “Proyecto para la solución de las filtraciones en la presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara.
- Barrera, M. (2002), “Estudio experimental del comportamiento hidro-mecánico de suelos colapsables”, Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería del terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Bisbal, A.; Picón, J.; Casaverde, M.; Jáuregui, F.; Anchayhua, R.; Sánchez, R.; Masana, M. (2006), “Manual básico para estimación de Riesgos”, Editora, Instituto Nacional de la Defensa Civil, Perú, Lima.
- Caballero, R. (2009). “Entrevista a premios nacionales de la Ingeniería Hidráulica”, Revista Voluntad hidráulica, Ciudad de La Habana, #102, pág 59.
- Cabrera, R.; Díaz, T. (2009), “Mantenimiento de obras hidráulicas”; Programa asignatura Hidráulica, escuela Luís Ruíz, Santa Clara.
- Carriña, R. (2000) “Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico”, Sección II, Editora Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá.

- Comité estatal de normalización. República de Cuba. (1985) “Procedimiento para la ejecución de las etapas de las investigaciones ingeniero geológicas de las presas de materiales locales”.
- Comité estatal de normalización. República de Cuba. (1982). “Construcción y Montaje, Explotación y Conservación de arquitectura e ingeniería. Términos y definición”.
- Crespo, T. (2009) “Recuperación de áreas degradadas por la actividad minera”, Capítulo 1, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río.
- Departamento de Geología (2008), “Geología ambiental”, Asignatura, programa Maestría Geología ambiental, curso 2008/2010, Universidad de Pinar del Río.
- Departamento de Geología (2008), “Estudio de Impacto Ambiental”, Asignatura, programa Maestría Geología ambiental, curso 2008/2010, Universidad de Pinar del Río.
- Díaz, T.; San Román, N.; Moré, O.; Rodríguez, E.; Ruíz, O. (2006) “Compendio metodológico para la investigación de obras de gran envergadura”, EIPH VC, Santa Clara.
- Díaz T., Ruíz, O., Sarduy, F. (2003) “Causas que motivaron las filtraciones en la presa Zaza; investigaciones para su solución definitiva”, Revista Voluntad hidráulica, # 95 Ciudad de la Habana.
- Díaz, T., San Román, N., Ruíz, O. (1999) “Investigación para la solución de las filtraciones, cortina presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara.
- Falkenmark, M; Chapman, T. (1993) “Hidrología comparada. Un enfoque ecológico a los recursos hídricos y de suelos”, Ediciones UNESCO, Madrid, España.
- Ferro, F. (1982) “Hidrología general”, Editora Científico-Técnica, Ciudad de la Habana.
- García, R.; Pérez, F.; Aruca, L.; Álvarez, A. (2002). “Una obra maestra: el acueducto Albear de la Habana”, Editora Científico-Técnica, Ciudad de la Habana.
- González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2002) “Ingeniería Geológica”, Editora Pearson Educación, Madrid.
- Gutierrez R. (2009) “Diagnóstico de patologías en presas de tierra y propuestas de soluciones. Casos de estudio presa “Minerva y Gramal”, Tesis de Diplomado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Construcciones, Departamento Ingeniería Civil, Cuba.

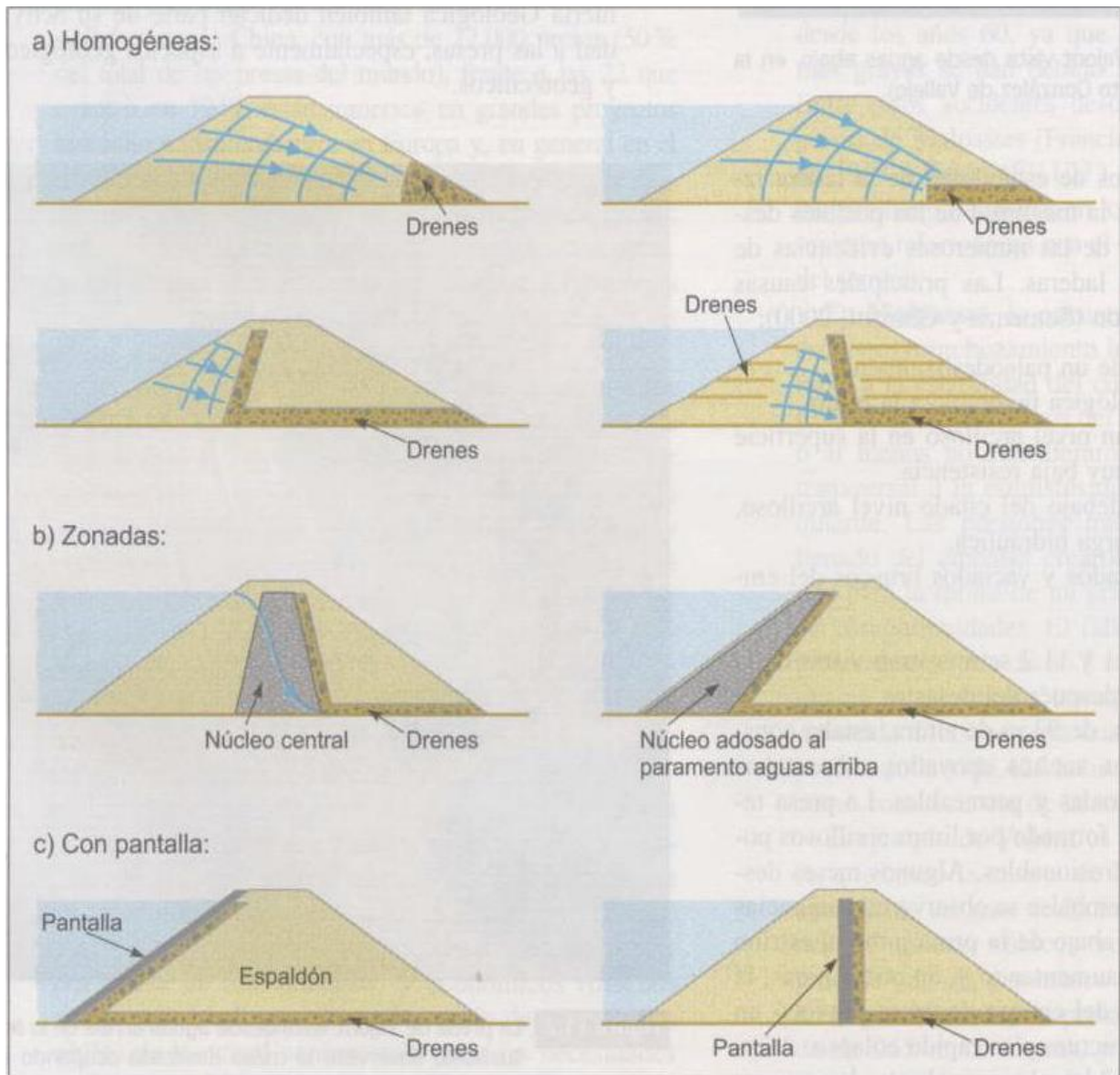


- Iturralde, M.A; Castadinov, I. (1971). "Manual del ingeniero geólogo hidrotécnico", Editora, Instituto cubano del libro, La Habana.
- Jaula, J. A. (2008) "Medio ambiente, ideología y desarrollo sostenible", Centro de Estudios de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CEMARNA). Universidad de Pinar del Río.
- Jaula, J.A. (2008) "Medio ambiente, desarrollo sostenible y políticas energéticas, con una perspectiva socialista desde América Latina y el Caribe", Artículo expuesto en el Primer congreso internacional "Energía y Medio ambiente", Universidad de Roma "La Sapienza", Roma, Italia
- Martínez, E. (1999) "Estudio geofísico reparación cortina presa Zaza, segunda etapa", EIPH VC, Santa Clara.
- Mateo, J.M. (2000), "Planificación y gestión ambiental", Editora, Ministerio de educación superior, Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana.
- Mesa, R. (2009) "Intervención del presidente del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba, en el 5<sup>to</sup> Foro Mundial del agua", Revista voluntad hidráulica, #101, Ciudad de la Habana.
- Ministerio de Justicia, República de Cuba. (1999) "Resolución 77. Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental", Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- Ministerio de Justicia, República de Cuba. (2006) "Resolución N° 91. Indicaciones para el proceso inversionista". Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- Reséndiz, D. (1988) "Comportamiento de Presas construidas en México", Editora Secretaria de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Ingeniería, Ciudad de México.
- San Román, N.; Díaz, T. (2008) "Geología cortina presa Alacranes", EIPH VC, Santa Clara.
- Secretaria de Estado de Aguas y Costas. (2001) "Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia de Presas", Editora, Ministerio de medio ambiente, Madrid
- Sherad. J. L., (1970), "Earth and earth-rock dams", Editora Instituto del libro, Ciudad de la Habana
- Pérez, J. (2001), "Filtración de agua en el suelo", Programa asignatura Mecánica de suelos, curso 2001/2002, Universidad de Granada, Granada, España.

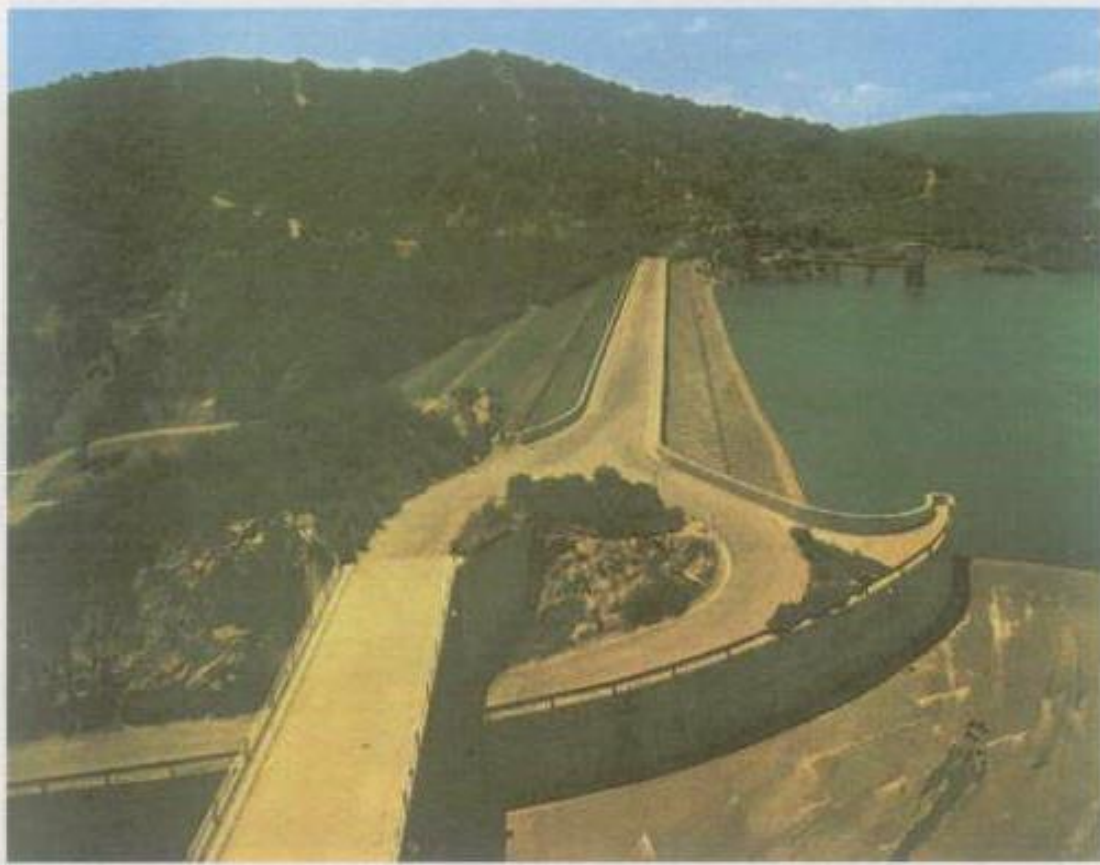
- Pérez, J. (2001), “Introducción a la mecánica del suelo parcialmente saturado”, Programa asignatura Mecánica de suelos, curso 2001/2002, Universidad de Granada, Granada, España
- Peñate, J. L. (2009) “Introducción a los estudios de Riesgos”, Tema 2, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río.
- Peñate, J. L. (2009) “Procedimiento para las investigaciones en presas y derivadoras”, EIPH VC, Santa Clara.
- Pinedo, A.; Gonzáles, S.; Del Pozo, I. (1995) “Guía metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental”, Parte 2, Grandes Presas, Editora Ministerio de obras públicas, transporte y medio ambiente, Madrid.
- Prats, F.; Caballero, R. (2009). “Entrevista a premios nacionales de la Ingeniería Hidráulica”, Revista Voluntad hidráulica, #102, Ciudad de La Habana.
- Ramos, A. (2002) “Proyecto para solución del fallo de la cortina presa Lebrije”, EIPH VC, Santa Clara..
- Ramos L.; San Román, N. (1987) “Informe sobre las investigaciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas en la instalación de piezómetros conjunto hidráulico “Alacranes”, Provincia Villa Clara”, Instituto de Hidroeconomía, Santa Clara.
- Ribas, J.A.; García, O. (1982). “Mecánica de suelo”, Editora Pueblo y educación, Ciudad de la Habana.
- Rodríguez, E.; Jiménez, R. (2008) “Investigación geofísica cortina Presa Alacranes”, EIPH VC, Santa Clara.
- Ruíz, O.; San Román N. (2005) “Apoyo de la investigación a la solución de fallos de la cortina de la presa Lebrije” Revista voluntad hidráulica, # 97, Ciudad de la Habana
- Ruíz, O.; San Román, N. (2003) “Informe ingeniero geológico para la reparación de la cortina en la presa Lebrije”, EIPH VC, Santa Clara.
- Yera, H., Rodríguez, E. (1998) “Estudio geofísico para la solución de las filtraciones en la presa Zaza”, EIPH VC, Santa Clara.

## ANEXOS

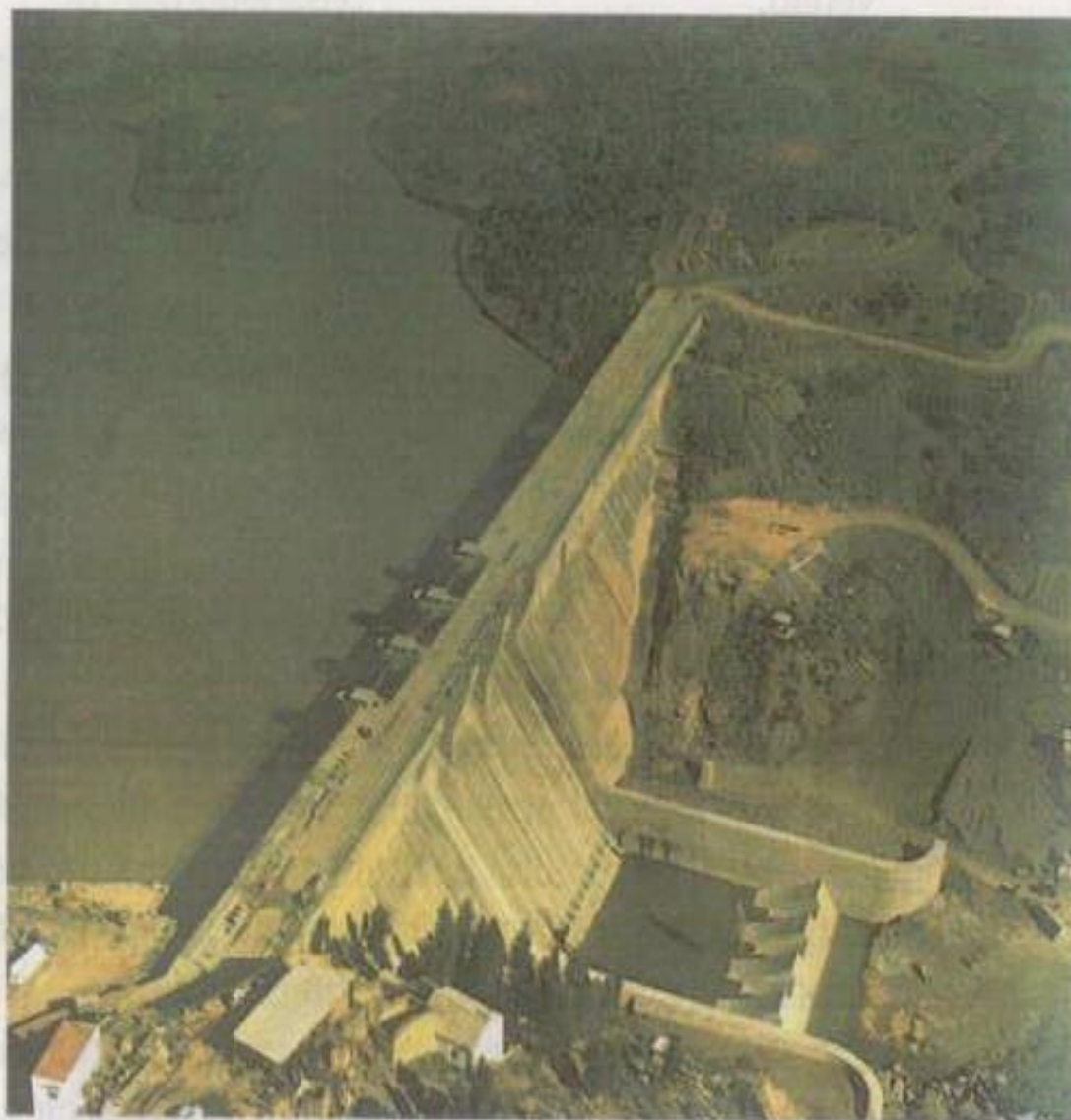
Anexo gráfico 1. Diferentes tipos de presas de materiales sueltos o de tierra. Cortesía, Libro “Ingeniería geológica” (González *et al.*, 2002)



**Anexo gráfico 2. Vistas de diferentes tipos de presa de materiales sueltos y de fábrica.**  
**Cortesía, Libro “Ingeniería geológica” (González *et al.* ,2002)**

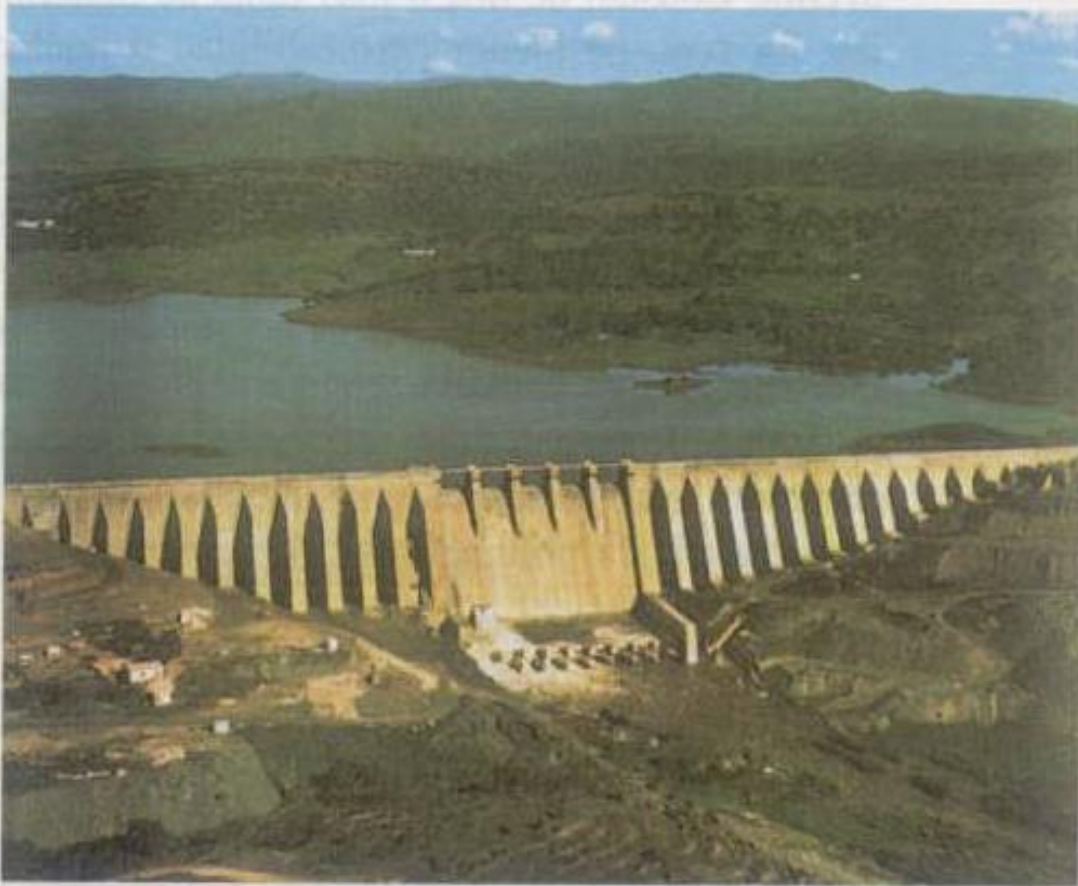


**Figura 11.4** Presa de Guadarranque (Cádiz) sobre areniscas y margas del Eoceno; presa de tierras con núcleo de arcilla de 71 m de altura; en primer plano el aliviadero y al fondo la torre de toma (cortesía del CNEGP).

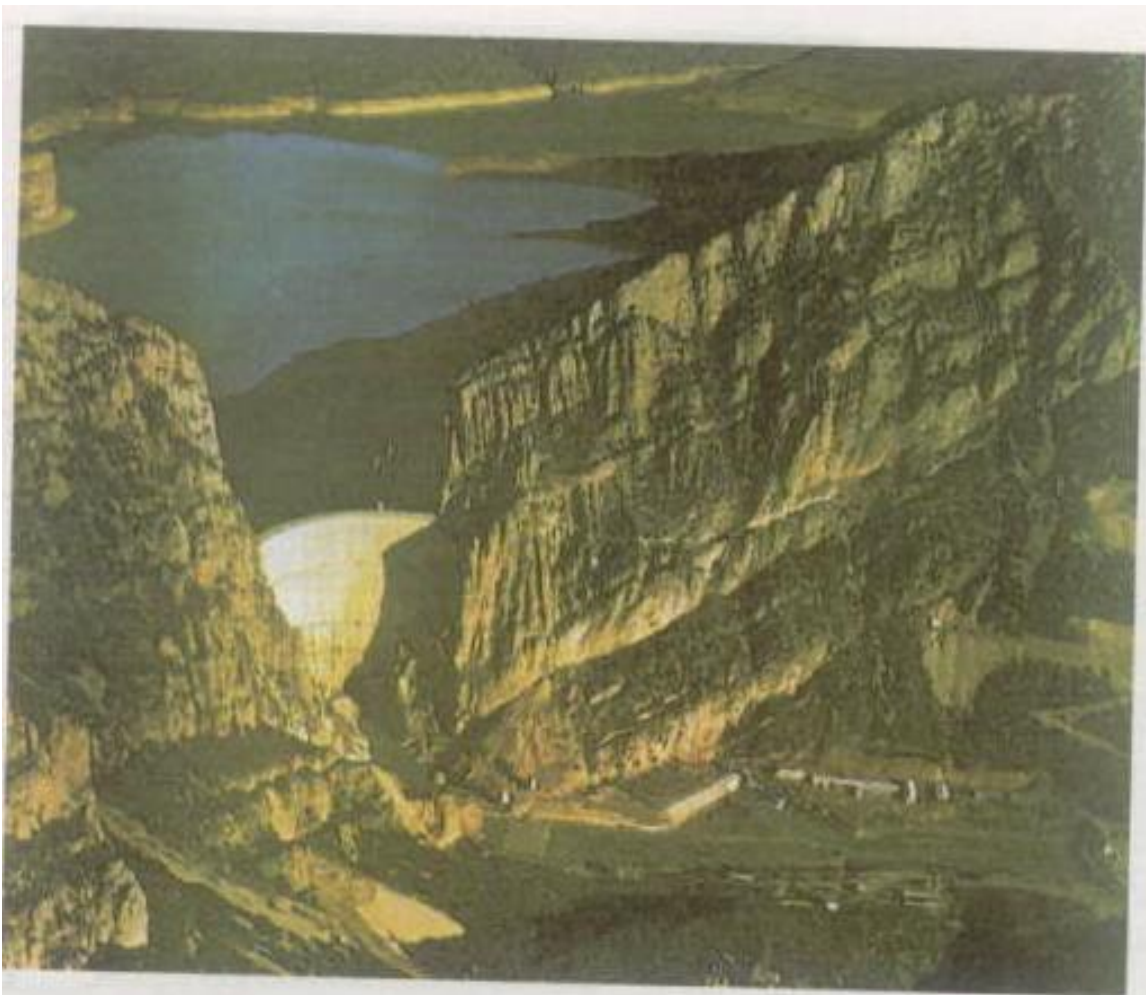


**Figura 11.7** Presa de Sancho (Huelva), de gravedad, de 50 m de altura (cortesía del CNEGP).





**Figura 11.8** Presa de Aracena (Huelva), sobre pizarras del Silúrico; presa de contrafuertes de 60 m de altura (cortesía del CNEGP).



**Figura 11.9** Presa de Canelles (Pirineo de Lérida) sobre calizas del Cretácico; presa bóveda de 151 m de altura (cortesía del CNEGP).

**Anexo gráfico 3. Muestra de diferentes tipos de patología que han afectado a embalses cubanos.**



Tipo de patología: Agrietamiento. Se observa la continuidad de la grieta de tipo longitudinal. Trabajadores del INRH realizan trabajos en la reparación del talud seco. Presa Alacranes. Cortesía GEARH. Villa Clara.





Tipo de patología: Agrietamiento y filtraciones. Se observa la profundidad y ancho de la grieta. En el plano aparece un trabajador tocando un suelo con mayor humedecimiento, asociado a la presencia de filtraciones. Trabajadores del INRH realizan trabajos en la reparación del talud seco, Presa Alacranes. Cortesía GEARH. Villa Clara.



Tipo de patología: Agrietamiento y filtraciones. Se observan en el primer plano grietas longitudinales, al pie del talud seco se nota la presencia de agua. Cortina presa Aridanes. Cortesía EIPH Villa Clara.





Tipo de patología: Deslizamiento. Ocurre el deslizamiento del suelo en el cual se apoya la estructura, ocurriendo la ruptura la losa superior y de los pilotes que sirven de solución a la cimentación. Aliviadero presa Dignorah. Cortesía EIPH Villa Clara.



Tipo de patología: Deslizamiento. Aparece un deslizamiento del talud seco, la afectación moviliza una importante masa de suelo de esta parte de la presa. Cortina presa Lebrije. Cortesía EIPH. Villa Clara.





Tipo de patología: Presencia de suelos dispersivos. Aparece la erosión en forma de oquedades en la corona del terraplén de la Presa San Juan de Dios. Cortesía de EIPH Camaguey.



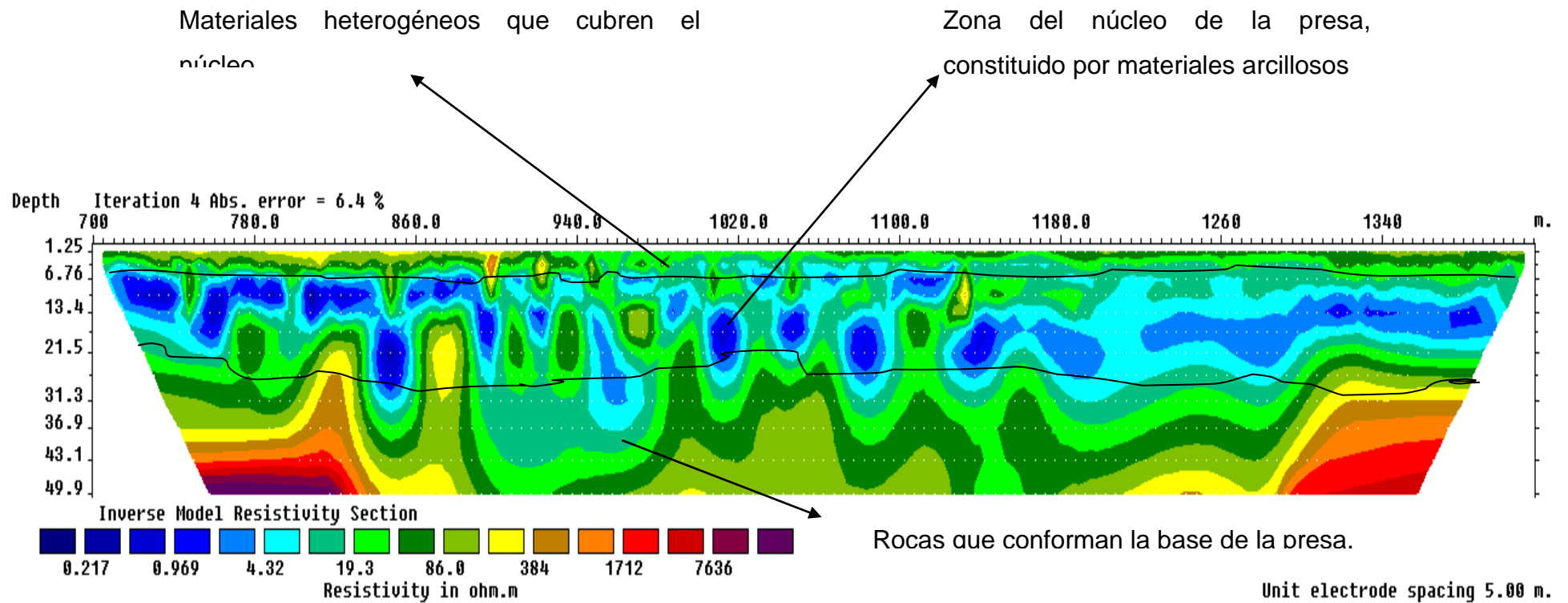
Tipo de patología: Presencia de suelos dispersivos. Se observa la influencia del agua de lluvia y las del embalse sobre los suelos dispersivos del terraplén de la presa Las Cabrerías Cortesía de EIPH Camagüey.



Tipo de patología: Presencia de suelos dispersivos. Se observa la Deformación del talud aguas arriba de la Presa Las Cabrerías por la acción de los procesos erosivos sobre los suelos dispersivos del terraplén. Cortesía de EIPH Camaguey.



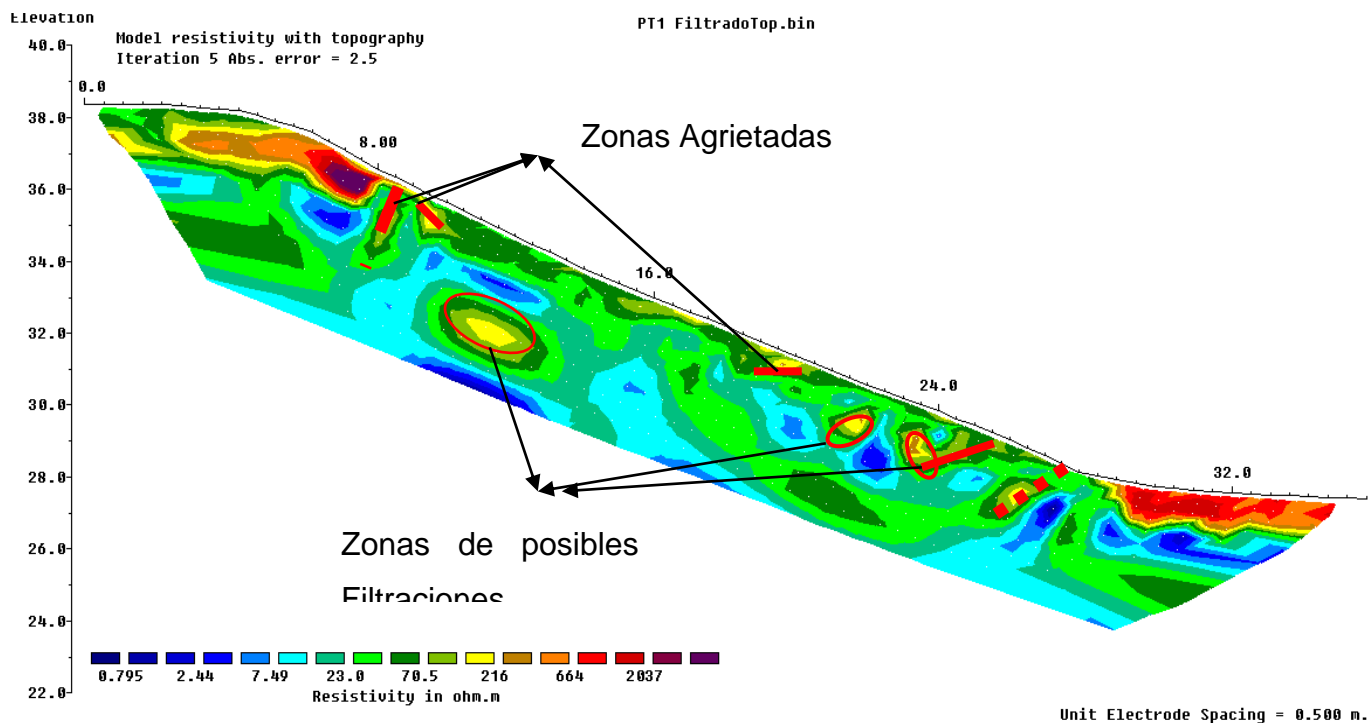
#### Anexo gráfico 4. Perfil geofísico longitudinal por la corona. Presa Alacranes





## Anexo gráfico 5. Detalles de los perfiles transversales geofísicos típicos entre las Estaciones estudiadas. Presa Alacranes.

### PERFIL 1



### PERFIL 2

